

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 12 206 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 04 B 10/02  
H 04 B 10/08  
H 04 B 10/20  
H 04 B 10/24

⑳ Aktenzeichen: 195 12 206.2  
㉑ Anmeldetag: 31. 3. 95  
㉒ Offenlegungstag: 11. 1. 96

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
01.07.94 JP 6-150964

⑦1 Anmelder:  
Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

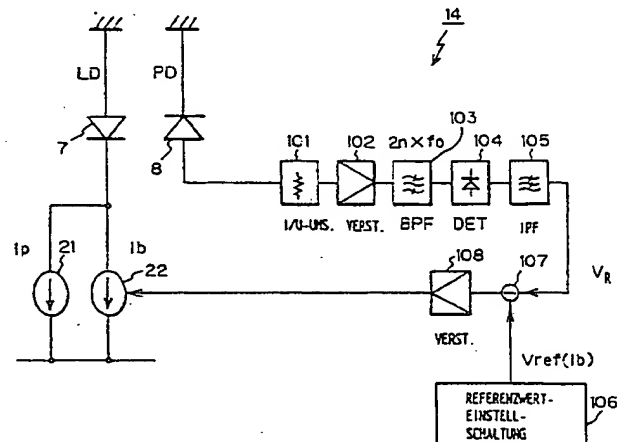
⑦4 Vertreter:  
Hoffmann, Eitle & Partner Patent- und  
Rechtsanwälte, 81925 München

⑦2 Erfinder:  
Oda, Gan, Kawasaki, Kanagawa, JP; Ishikawa,  
Tomohisa, Kawasaki, Kanagawa, JP; Sakai,  
Yoshimitsu, Sapporo, Hokkaido, JP; Okamoto,  
Akira, Kawasaki, Kanagawa, JP; Kunikane, Tatsuro,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Watanabe, Tetsuo,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Miyata, Sadayuki,  
Kawasaki, Kanagawa, JP; Furukawa, Hiroyuki,  
Sapporo, Hokkaido, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Optisches Kommunikationsmodul

⑤7 Im Rahmen der Erfindung wird ein kompaktes und billiges optisches Kommunikationsmodul zum kombinierten Senden und Empfangen geschaffen, das sich für den Einsatz in einem TCM-System eignet und mit dem ein Normalbetrieb, in einem besonders großen Temperaturbereich, bei Einsatz in einer optischen Kommunikationsanlage möglich ist. Zu diesem Zweck enthält der optische Sende-/Empfangsteil eine Laserdiode (7) zum Abgeben eines zu übertragenden optischen Signals sowie eine kombinierte Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode (10), die nicht nur das optische Ausgangssignal der Laserdiode (7) während eines Sendezeitabschnitts überwacht, sondern ebenso das optische Eingangssignal von dem Übertragungsweg (1) während eines Empfangszeitabschnitts empfängt und einen optischen Mischer/Teiler (2) zum Mischen und Teilen während dem Senden und Empfangen zwischen dem Übertragungsweg (1), der Laserdiode (7) und der Fotodiode (10). Ein Treiberteil (11) enthält eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) und eine Schwellwert-Regelschaltung (14) zum Durchführen einer sukzessiven Regelung des Vorspannstroms ( $I_b$ ) der Laserdiode (7) in der Art, daß das durch die Fotodiode (10) überwachte optische Ausgangsrauschen maximiert wird.



BEST AVAILABLE COPY

1A 9021561 3D

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Kommunikationsvorrichtung und im besonderen ein optisches Kommunikationsmodul, das im Freien benützt werden kann und das über einen weiten Temperaturbereich normal funktionieren muß, und ferner ein optisches Kommunikationsmodul vom kombinierten Empfangs-/Sendetyp, das sich in einem TCM-Zeitmultiplexsystem (time compression multiplexing system) einsetzen läßt, indem eine bidirektionale Übertragung über eine einzige Glasfaser durch zeitabhängiges Umschalten zwischen Senden und Empfangen erfolgt. Früher wurde bei in TCM-Systemen eingesetzten optischen Kommunikationsmodulen der aus einem Lichtleiter aufgebaute Übertragungsweg durch den Einsatz eines optischen Kopplers/Teilers sowohl zum Übertragen als auch zum Empfangen benützt. Das Übertragungsmodul (Laserdiodenmodul) bestand aus einer Laserdiode (LD) zum Abgeben eines optischen Signals über den optischen Koppler/Teiler an die Übertragungsstrecke und einer Fotodiode (PDM) zum Überwachen des optischen Signals. Das Empfangsmodul (PD-Modul) bestand aus einer Fotodiode (PDR), die das optische Signal über einen optischen Koppler/Teiler am Übertragungsweg empfängt.

In den Treiberschaltungen für das LD-Modul und das PD-Modul treibt ein LD-Treiber eine Laserdiode innerhalb des LD-Moduls entsprechend einem elektrischen Eingabesignal. Ein Teil des von der Laserdiode abgegebenen Ausgangssignals wird von einer Fotodiode empfangen und einer automatischen APC-Leistungsregelung (automatic power control) innerhalb der Treiberschaltung des Moduls zugeführt. In der APC-Leistungsregelung wird das Ausgangssignal der Laserdiode überwacht und der Treiberstrom des LD-Treibers so geregelt, daß die Ausgangsleistung konstant ist. Eine Schwellwertschaltung (VT), die der APC-Leistungsregelung zugeordnet ist, erzeugt den Treiberschwellwertstrom während des Treibens der Laserdiode.

Das Ausgangssignal des PD-Moduls wird durch einen Vorverstärker verstärkt, wobei das verstärkte Signal anschließend der nächsten Stufe zugeführt wird, die aus einem AGC-Regelverstärker (automatic gain control) gebildet ist. Der AGC-Verstärker regelt die Verstärkung des Vorverstärkers, so daß sich für das empfangene Signal ein konstanter Pegel ergibt; das Ausgangssignal dieses Regelverstärkers wird in der nachfolgenden Schaltung verstärkt, die eine Taktherstellungs- und Bestimmungsschaltung ist. Diese Taktherstellungs- und Bestimmungsschaltung leitet aus dem empfangenen Eingangssignal den Takt ab und gewinnt hieraus die Signalform des empfangenen Signals zurück. Der Takt und das Signal werden dann nach außen abgegeben.

Die APC-Leistungsregelung ist so aufgebaut, daß der von der PDM-Fotodiode abgegebene Strom in eine Spannung umgesetzt wird, wobei die sich ergebende Überwachungsspannung von einem Tiefpaßfilter umgesetzt wird. Ein Subtrahierer dient zum Erfassen des Fehlers zwischen der Gleichspannung und einer Referenzspannung, wobei diese Fehlerspannung an eine Stromquelle ( $I_p$ ) zum Anpassen des LD-Diodenstroms angelegt wird, um die Ausgangsleistung konstant zu halten. In der Schwellwertschaltung erfaßt eine Temperaturmeßvorrichtung die Temperatur des LD-Moduls und in der Temperatur-Ausgleichsschaltung wird eine Umsetztabelle, beispielsweise zwischen der erfaßten Temperatur und Vorspannstromwerten benutzt, um die erfaßte Temperatur in einen Vorspannwert umzusetzen. Eine  $I_b$ -Erzeugungsschaltung regelt die Stromquelle für den Vorspannstrom entsprechend dem umgesetzten Vorspannwert.

Jedoch treten bei dem soeben beschriebenen optischen Kommunikationsmodul eine Reihe von Problemen auf, die nachfolgend beschrieben werden.

Das erste Problem ergibt sich aus dem Zusammenhang zwischen dem Treiberstrom ( $I_f$ ) und der optischen Ausgangsleistung ( $P_f$ ) der Laserdiode, die eine optoelektronische Umsetz-Vorrichtung ist. Eine Laserdiode hat eine Umsetzcharakteristik, die im wesentlichen mit der Beziehung  $P_o = H \times (I_f - I_{th})$  übereinstimmt. Aus diesem Grund ist der Eingangsstrom die Summe des Vorspannstroms der Konstantstrom-Vorspannquelle, die fortlaufend einen Strom entsprechend dem Schwellwert ( $I_{th}$ ) abgibt, und des Impulstreiberstroms ( $I_t$ ) der Konstantstromquelle zum Erzeugen eines Treibersignalstroms, der entsprechend der Eingangsdaten zwischen zwei Werten schwankt. Im Ergebnis ergibt sich eine Ausgangssignalform, die eine lineare Reproduktion der Eingangssignalform darstellt. Im Hinblick auf die zweite Stromkomponente erfolgt wie oben beschrieben eine APC-Leistungsregelung, so daß die optische Ausgangsamplitude auf einem vorbestimmten konstanten Wert gehalten wird, in Abhängigkeit des von der in dem LD-Modul vorgesehenen PDM-Überwachungsdiode abgegebenen optischen Überwachungssignal. Jedoch ergibt sich aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Zusammenhangs zwischen dem Treiberstrom ( $I_f$ ) und der optischen Ausgangsleistung ( $P_f$ ) der Laserdiode in dem Fall, in dem die Temperatur entweder ansteigt oder abfällt, das Problem, daß sich die Signalform des optischen Ausgangssignals bei gleicher Treibersignalform verändert. Im wesentlichen steigt mit steigender Temperatur der Schwellwert ( $I_{th}$ ) und entsprechend verringert sich der Umsetzfaktor  $h$ . Während eine Veränderung des Umsetzfaktors  $h$  in der zuvor beschriebenen APC-Regelschleife ausgeglichen werden kann, ist in der Anordnung gemäß dem Stand der Technik ein automatischer Ausgleich der Veränderung des Schwellwertstroms nicht möglich.

Wird zugelassen, daß Schwankungen des Schwellwerts auftreten, so ergibt sich bei steigender Temperatur ein Ansteigen des Schwellwertstroms der Laserdiode derart, daß sich bei der steigenden Flanke des Ausgangsimpulses ein Jitter-Problem und eine Verringerung der Ausgangsimpulsbreite ergibt. Auf der anderen Seite nimmt mit fallender Temperatur auch der Schwellwertstrom ab, so daß sich Probleme aufgrund einer herabgesetzten Impulsbreite und einer Verzerrung des Impulslöschverhältnisses aufgrund einer überlagerten Gleichstromkomponente ergeben. In jenem Fall ergibt sich eine Verschlechterung der gesamten Übertragungsqualität, so daß das Modul praktisch nicht als Kommunikationsmodul eingesetzt werden kann.

Früher wurde die Temperaturkennlinie entweder statistisch oder durch direkte Messungen vorab bestimmt, um die oben beschriebenen Probleme in den Griff zu bekommen, und ein Vorspannstrom wurde über eine geeignet ausgebildete Schwellwertschaltanordnung abgegeben, um die Schwankungen des Schwellwertstroms ( $I_{th}$ ) aufgrund einer veränderten Temperatur auszugleichen.

Jedoch können auch bei Einsatz der Schwellertschaltungsanordnung die folgenden Probleme nicht gelöst werden:

<1> Wenn der Schwellwertstrom ( $I_{th}$ ) nicht im wesentlichen durch eine Exponentialfunktion beschreiben werden kann ( $I_{th}(T_a) = I_{th0} \cdot \exp(T_a/T_0)$ ) (wobei  $T_0$  eine Bezugstemperatur und  $I_{th0}$  der Schwellwert bei der Bezugstemperatur ist), so kann eine gute Approximation nur dann erzielt werden, wenn unterschiedliche Bezugstemperaturen in den Bereichen zwischen der Raumtemperatur und einer hohen Temperatur und zwischen der Raumtemperatur und einer niedrigen Temperatur benützt werden, und eine Realisierung dieser Approximation führt zu einer komplexen Temperaturschaltung. Weiterhin tritt, wie oben beschrieben, bei einem Vorspannstrom ( $I_b$ ), der bezogen auf den Schwellwertstrom ( $I_{th}$ ) entweder außerordentlich groß oder außerordentlich klein ist, eine Verschlechterung der Übertragungsqualität auf und die Anpassmaßnahmen zum Erzielen eines Ausgleichs in diesem Fall sind außerordentlich schwierig.

<2> Um einen genauen Temperaturschaltung zu erzielen, ist es erforderlich, die Temperaturkennlinie jeder einzelnen Laserdiode zu bestimmen, und dies führt zu einer Zunahme der Kosten der Laserdioden und der optischen Moduln. Das zweite Problem tritt auf, wenn das optische Kommunikationsmodul vom oben beschriebenen Typ in einem TCM-Zeitmultiplexsystem (time compression multiplexing) eingesetzt wird, in dem bidirektionale Kommunikation über einen einzigen Lichtleiter durchgeführt wird, wobei zwischen Empfangs- und Senderichtung umgeschaltet wird. Bei der passiven Doppelsternschaltung (PDS) mit TCM-Zeitmultiplex, die eine Art von TCM-Kommunikation darstellt, erfolgt die bidirektionale Kommunikation zwischen einer Zentrale und einer Reihe von Teilnehmern im Zeitmultiplex-Betrieb, um bei einem einzigen Lichtleiter zwischen dem Sende- und Empfangsbetrieb abzuwechseln. Dies ist bekannt als System mit Mehrfachzugriff im Zeitmultiplex (TCM-TDMA-System).

In dem System wird während der anfänglichen Systemeinstellung ein Distanzmeßimpuls an jeden Teilnehmer gesendet, und der zurückgesendete Impuls wird erfaßt, um die Übertragungsverzögerung zu jedem Teilnehmer festzustellen. Auf der Grundlage dieser Meßergebnisse werden jedem Teilnehmer Zeitabschnitte für die Übertragung von Daten zu der Zentrale zugewiesen, um bei Empfang von Daten durch die Zentrale eine zeitliche Kollision mit anderen Teilnehmern zu vermeiden. In diesem System können in einer Zentrale eine Reihe von Teilnehmern über einen Sternkoppler zusammengefaßt werden, und dieses System weist den Kostenvorteil auf, daß die Zentrale mit dem Sternkoppler über einen einzigen Lichtleiter verbunden werden kann.

Jedoch muß bei einem derartigen System die Vorspann-Ausgangsleistung der Sendeteile der einzelnen Teilnehmer ausreichend klein gewählt werden, und falls diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird die Vorspann-Abstrahlung dem schwachen zu übertragenden Signal eines entfernten Teilnehmers überlagert, so daß sich das Problem eines herabgesetzten Lichtintensitäts-Verhältnisses bei dem empfangenen Licht ergibt, das in der Zentrale für die Unterscheidung zwischen dem 1- und 0-Pegel verwendet wird. Dies bedeutet, daß der Störabstand der empfangenen Impulse herabgesetzt ist, so daß sich eine Verschlechterung der Übertragungsqualität ergibt.

Zusätzlich ergaben sich im Zusammenhang mit TCM-Kommunikation Probleme mit der Realisierung von kompakten und wirtschaftlichen Laserdioden und Fotodiodenmoduln und mit der zuverlässigen Erfassung von Störbedingungen.

Insbesondere wurden in der Vergangenheit jede einzelne Laserdiode und jedes einzelne Fotodiodenmodul einzeln als Modul hergestellt, wodurch eine weitergehende Reduzierung der Größe des optischen Sende-/Empfangsmoduls nur schwierig zu erzielen war. Da zusätzlich unterschiedliche Komponenten für das Senden und das Empfangen in dem Sende-/Empfangsmodul eingesetzt wurden, mußten die Sende- und Empfangskomponenten einzeln angepaßt werden, was zu einem Problem bei den Herstellungskosten führte. Ferner müssen in dem Fall, in dem eine Störung auf dem Übertragungsweg auftritt, die Vorrichtungen zum Senden und Empfangen und die Anschlüsse zuverlässig und in einfacher Weise eine Reihe von Problemen verarbeiten. Jedoch wird mit der in dem Laserdiodenmodul gemäß dem Stand der Technik eingesetzten Überwachungsphotodiode nur das von der Laserdiode rückgekoppelte Licht erfaßt und eine APC-Leistungsregelung durchgeführt. Aus diesem Grund war es nicht möglich, den Verlust nach dem optischen Ausgang entlang des Übertragungsweges oder die Verschlechterung der Laserdiode zu erfassen.

In dem momentan benützten optischen Modul werden drei sehr kostspielige optische Halbleitervorrichtungen eingesetzt: Die Laserdiode und die Überwachungsphotodiode innerhalb des optischen Sendemoduls und die Photodiode zum Empfangen von Licht innerhalb des optischen Empfangsmoduls. Jedoch können in einem optischen Sende-/Empfangsmodul eines TCM-Systems, das die Sende-/Empfangs-Zeitmultiplex-Eigenschaften des TCM-Systems nützt, die gemeinsamen Komponenten sowohl in dem Sende- als auch Empfangsteil benützt werden, und insbesondere ist es möglich, ein und dasselbe Fotodiodelement sowohl zum Überwachen der abgegebenen Lichtstrahlung als auch zum Erfassen des empfangenen optischen Signals anzuwenden. Wird diese Photodiode in dieser Weise benützt, so wird das Element als normales Fotodiodelement während des Empfangs zum Empfangen von Licht eingesetzt, und beim Senden wird es als eine Photodiode zum direkten Überwachen des von dem Laserdiodelement an den Leiter abgegebenen Lichts benützt.

Der vorliegenden Erfindung liegt in Anbetracht der oben beschriebenen zahlreichen Probleme die Aufgabe zugrunde, ein optisches Kommunikationsmodul zu schaffen, in dem der Schwellwertstrom ( $I_{th}$ ) während des Sendens überwacht wird und der Vorspannstrom ( $I_b$ ) automatisch in Abhängigkeit von dem Überwachungsergebnis nachgeführt wird, so daß der Einfluß der beispielsweise durch Temperaturschwankungen verursachten Schwellstromveränderungen ausgeglichen wird und ein stabiler Betrieb über einen großen Temperaturbereich hinweg ermöglicht wird, wobei ein optisches Kommunikationsmodul weder eine Schwellwert-Angleichung noch ein Erfassen der Laserdioden-Eigenschaften erfordert.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines optischen Kommunikationsmoduls, das als optisches Kommunikationsmodul in einem TCM-Zeitmultiplexsystem eingesetzt werden kann und in dem Komponenten wie Fotodioden gleichzeitig in dem Empfangsmodul und in dem Sendemodul unter Erzielung einer einfachen Anordnung eingesetzt werden, so daß ein kompaktes und wirtschaftliches Modul gebildet wird und indem ferner durch direktes Überwachen des tatsächlich an den Lichtleiter übertragenen optischen Ausgangssignals eine exakte Fehlererfassung und APC-Leistungsregelung möglich wird.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein optisches Kommunikationsmodul geschaffen mit einem optischen Sende-/Empfangsteil, der das zu sendende Signal an den Übertragungsweg als optisches Signal weiterleitet und ein optisches Signal von dem Übertragungsweg empfängt, und einem Treiberteil, der das zu übertragende Signal an den optischen Sende-/Empfangsteil weiterleitet, wobei das durch den optischen Sende-/Empfangsteil empfangene optische Signal als das empfangene Signal wiedergewonnen wird, und wobei in dem Treiberteil eine Schwellwertregelschaltung vorgesehen ist, die den Vorspannstrom so regelt, daß das optische Rauschsignal am Ausgang der Laserdiode, das von der Fotodiode zum Überwachen des Ausgangssignals erfaßt wird, zum Durchführen des Vorspannstroms, der zum Anpassen des Schwellwerts dient, entsprechend dem Schwellwertstrom bei der Laserdiode für die Ausgabe des zu übertragenden optischen Signals in dem Sende-/Empfangsteil zur Verfügung steht.

Weiterhin wird entsprechend der vorliegenden Erfindung ein optisches Kommunikationsmodul geschaffen, das ein zu übertragendes optisches Signal an einen bidirektionalen Übertragungsweg weiterleitet, der aus einem einzigen Lichtleiter besteht, wobei das optische Modul einen optischen Sende-/Empfangsteil enthält, der an dem Übertragungsweg ein optisches Eingangssignal empfängt, sowie einen Treiberteil, der das zu übertragende Signal an den optischen Sende-/Empfangsteil weiterleitet, wobei das durch den optischen Sende-/Empfangsteil empfangene optische Signal als Empfangssignal reproduziert wird und dieser optische Sende-/Empfangsteil eine Laserdiode enthält, die das zu übertragende optische Signal abgibt, sowie eine kombinierte Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode, die nicht nur das während eines Übertragungszeitabschnitts von der Laserdiode an den Übertragungsweg abgegebene optische Ausgangssignal überwacht, sondern während eines Empfangszeitabschnitts das Licht eines optischen Eingangssignals am Übertragungsweg empfängt, sowie einen optischen Mischer/Teiler, der das gesendete/empfangene Licht zwischen dem Übertragungsweg und der Laserdiode und der Fotodiode mischt/teilt, wobei der Treiberteil eine Sende-/Empfangs-Umschalterschaltung aufweist, die das zeitweise Umschalten des Sende-/Empfangsteils zwischen Senden und Empfangen durchführt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird auch ein optisches Kommunikationsmodul geschaffen, bei dem ein zu übertragendes optisches Signal an einen bidirektionalen Übertragungsweg aus einem einzigen Lichtleiter abgegeben wird, wobei dieses optische Kommunikationsmodul einen optischen Sende-/Empfangsteil aufweist, der ein optisches Eingangssignal von dem Übertragungsweg empfängt, und einem Treiberteil, der das zu übertragende Signal an den optischen Sende-/Empfangsteil weiterleitet, wobei das empfangene optische Signal in dem optischen Sende-/Empfangsteil als empfangenes Signal reproduziert wird und wobei dieser optische Sende-/Empfangsteil eine Laserdiode enthält, die das zu übertragende optische Signal abgibt, sowie eine kombinierte Überwachungs-/Empfangsfotodiode, die nicht nur das während eines Übertragungszeitabschnitts von der Laserdiode an den Übertragungsweg abgegebene optische Ausgangssignal überwacht, sondern auch das während eines Empfangszeitabschnitts über den Übertragungsweg über ein optisches Signal empfangene Licht empfängt, und einen optischen Mischer/Teiler, der das gesendete/empfangene Licht zwischen dem Übertragungsweg und der Laserdiode und der Fotodiode mischt/teilt, wobei der Treiberteil eine Sende-/Empfangs-Umschalterschaltung aufweist, die ein zeitweises Umschalten des Sende-/Empfangsteils zwischen Senden und Empfangen durchführt, sowie eine Schwellwertregelschaltung, die die Nachführregelung des Vorspannstroms der Laserdiode so durchführt, daß die durch die Fotodiode erfaßte abgegebene Rauschleistung maximal wird.

Das optische Rauschen einer Laserdiode (LD) weist eine charakteristische Frequenzverteilung und eine Vorspannstrom-/Schwellwertstrom- $(I_b/I_{th})$ -Abhängigkeit auf. Die  $I_b/I_{th}$ -Abhängigkeit des optischen Rauschens weist bei  $I_b$  ungefähr gleich  $I_{th}$  einen stark ausgeprägten Spitzenwert auf, und das optische Rauschen weist bei einer Zu- und Abnahme von  $I_b$  mit diesem Punkt als Grenzwert einen exponentiellen Abfall auf. Demnach tritt nahezu der gesamte Rauschanteil in dem Zeitabschnitt auf, in dem  $DATA=0$  gilt, während dem der Treiberstrom der Laserdiode ungefähr gleich dem Schwellwertstrom ist.

Im Hinblick auf die Frequenzverteilung des optischen Rauschens sei angemerkt, daß diese mit Ausnahme des Bereiches in der Nähe der Abkling-Oszillationsfrequenz nahezu konstant verläuft, wohingegen das Leistungsspektrum eines digitalen Signals mit einer Bitrate von  $f_0$  idealerweise bei den Frequenzen  $2n \cdot f_0$  ( $n$  ist eine ganze Zahl) einen Anteil von Null aufweist.

Werden demnach die Anteile mit  $2n \cdot f_0$  von dem überwachten Signal extrahiert und erfolgt nachfolgend eine Regelung des Vorspannstroms in der Weise, daß das überwachte Signal (das  $2n \cdot f_0$  Rauschanteile enthält) maximiert wird, so ist es möglich, ein Führen des Wertes von  $I_b$  durch den Wert von  $I_{th}$  zu erreichen, wobei eine minimale Wechselwirkung mit den zu übertragenden Daten auftritt.

Wird die vorliegende Erfindung in einem TCM-Zeitmultiplexsystem eingesetzt, in dem ein zeitweises Umschalten zwischen Senden und Empfangen erfolgt, so ist es möglich, in dem Sende-/Empfangsteil die Position des Laserdiodelements und des Fotodiodelements im Vergleich zu dem bisher üblichen LD-Modul des Sende-/Empfangsteils zu verändern und einen optischen Mischer/Teiler beispielsweise unter Gebrauch einer Trennschicht, hinzuzufügen, so daß die Fotodiode sowohl für den Empfang und die Überwachung des am Ausgang der Laserdiode abgegebenen Lichts eingesetzt werden kann. Durch diese Vorgehensweise ist es nicht nur möglich, eine 3:2-Reduzierung der Anzahl der eingesetzten optischen Halbleiterkomponenten zu erzielen, sondern ebenso möglich, das Sende-/Empfangsmodul als eine einzige Einheit zu realisieren, die im Verlauf eines einzigen Herstellungsprozesses hergestellt werden kann, so daß sich bei der Herstellung des Sende-/Empfangsteils sowohl ein kompakter Aufbau als auch niedrige Kosten erzielen lassen. Da zusätzlich das von der Laserdiode

abgegebene Licht in Vorwärtsrichtung über einen optischen Teiler/Mischer und über die Fotodiode überwacht wird, ist es möglich, Ausgangssignalfehler genau zu erfassen, die beispielsweise durch Verluste des Laserdioden-Ausgangssignals oder durch eine Verschlechterung der Laserdiode verursacht sind.

Ferner führt die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung ein Umschalten entweder entsprechend einem von außen zugeführten Sende-/Empfangs-Umschalt-Signal durch, oder unabhängig hiervon auf der Grundlage eines internen Zeitgebers. Während der Übertragung leitet die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung das Überwachungssignal von der Fotodiode zu der APC-Leistungsregelungs-Schaltung und zu der oben beschriebenen Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung, die das Ausgangssignal der Laserdiode so regelt, daß es konstant verläuft. Während des Empfangs überträgt die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung das empfangene Signal von der Fotodiode zu der APC-Regelverstärker-Schaltung, die das empfangene Signal auf einem konstanten Pegel hält. In dem zweiten Fall wird dadurch, daß ein Breitband-Vorverstärker in dem Empfangsteil eingesetzt wird, die Verarbeitung des Ausgangssignals des Breitband-Vorverstärkers in der APC-Leistungsregelungs-Schaltung möglich. Aufgrund des Aufbaus der vorliegenden Erfindung ist die APC-Leistungsregelung und die Schwellwertregelung selbst dann möglich, wenn innerhalb des Laserdiodenmoduls keine Überwachungsfotodiode vorgesehen ist.

Ein detaillierteres Verständnis der vorliegenden Erfindung ergibt sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung; es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines in eine TCM-Zeitmultiplexsystem eingesetzten optischen Kommunikationsmodul gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 2 beispielhaft ein Laserdiodenmodul aus Fig. 1;

Fig. 3 ein Beispiel eines als Einheit ausgebildeten optischen Moduls, das das Laserdiodenmodul und das Fotodiodenmodul enthält;

Fig. 4 ein Beispiel eines optischen Moduls, das sich ergibt, wenn dem in Fig. 3 gezeigten Beispiel ein optischer Koppler/Mischer hinzugefügt wird;

Fig. 5 ein Blockschaltbild einer beispielhaften Schaltungsanordnung der APC-Leistungsregelungs-Schaltung und der Schwellwertschaltung von Fig. 1;

Fig. 6a ein Beispiel einer Kennlinie einer Laserdiode, in der der Treiberstrom gegen die optische Ausgangsleistung angetragen ist;

Fig. 6b ein Beispiel einer Eingangssignalform;

Fig. 6c ein Beispiel einer Ausgangssignalform;

Fig. 7 ein Beispiel einer Kennlinie einer Laserdiode, in der der Treiberstrom gegen die optische Ausgangsleistung angetragen ist;

Fig. 8a ein Beispiel einer Kennlinie einer Laserdiode bei erhöhter Temperatur, in der der Treiberstrom gegen die optische Ausgangsleistung angetragen ist;

Fig. 8b ein Beispiel einer Eingangssignalform;

Fig. 8c ein Beispiel einer Ausgangssignalform;

Fig. 9a ein Beispiel der Kennlinie einer Laserdiode bei erniedrigter Temperatur, in der der Treiberstrom gegen die optische Ausgangsleistung angetragen ist;

Fig. 9b ein Beispiel einer Eingangssignalform;

Fig. 9c ein Beispiel einer Ausgangssignalform;

Fig. 10a die Darstellung des TCM-Kommunikationssystems;

Fig. 10b ein Zeitdiagramm zum Verdeutlichen eines Beispiels des Kommunikationszeitablaufs in Fig. 10a;

Fig. 11 eine Darstellung des empfangenen Pulsaustakt-Verhältnisses bei der Zentrale des in Fig. 10a gezeigten Systems;

Fig. 12 ein Blockschaltbild der Grundkonfiguration eines optischen Kommunikationsmoduls der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13 ein Blockschaltbild entsprechend der ersten Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 14a ein Beispiel der Strom- und Frequenz-Abhängigkeit des optischen Rauschens einer Laserdiode;

Fig. 14b eine Darstellung zum Verdeutlichen der Vorgehensweise zum Bestimmen des Ith-Spitzenwerts;

Fig. 14c ein Beispiel des Leistungsspektrums eines übertragenen digitalen Signals;

Fig. 15 ein Blockschaltbild der zweiten Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 16 ein Blockschaltbild der dritten Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 17 ein Blockschaltbild einer vierten Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 18a ein Schaltbild eines Beispiels der Schaltungsanordnung der Schwellwert-Regelschaltung aus Fig. 17;

Fig. 18b ein Zeitdiagramm zum Verdeutlichen des Zeitablaufs während des Betriebs der in Fig. 18a gezeigten Schaltung;

Fig. 19a ein weiteres Beispiel der Schaltungsanordnung der Schwellwert-Regelschaltung aus Fig. 17;

Fig. 19b eine Darstellung zum Erläutern des Betriebs der in Fig. 19 gezeigten Schaltung;

Fig. 20 ein Blockschaltbild entsprechend einer fünften Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 21 eine Darstellung, die die Wechselwirkung zwischen dem Sende-/Empfangs-Umschaltsignal und dem Laserdioden-Treiberstrom verdeutlicht;

Fig. 22 ein Blockschaltbild zum beispielhaften Erläutern des Aufbaus der sechsten Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 23 ein Blockschaltbild, das beispielhaft die Anordnung eines optischen Kommunikationsmoduls zeigt, in das eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung aufgenommen ist;

Fig. 24 ein Blockschaltbild eines anderen Beispiels der für den Aufbau eines Kommunikationsmoduls, in dem eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung enthalten ist,

Fig. 25 eine Darstellung einer Beispielkonfiguration (1) eines einteilig ausgebildeten optischen Sende-/Empfangs-Kommunikationsmoduls gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 26 eine Darstellung einer Beispielkonfiguration (2) eines einteilig ausgebildeten optischen Sende-/Empfangs-Kommunikationsmoduls gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 27 eine Darstellung einer Beispielkonfiguration (3) eines einteilig ausgebildeten optischen Sende-/Empfangs-Kommunikationsmoduls gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 28 eine Darstellung einer Beispielkonfiguration (4) eines einteilig ausgebildeten optischen Sende-/Empfangs-Kommunikationsmoduls gemäß der vorliegenden Erfindung.

Vor dem Beschreiben der bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung soll unter Bezug auf die Fig. 1 bis 11 auf Beispiele aus dem Stand der Technik eingegangen werden.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel eines typischen optischen Kommunikationsmoduls aus dem Stand der Technik, wie es in einem TCM-Zeitmultiplexsystem eingesetzt wird.

Der in Fig. 1 gezeigte Lichtleiter-Übertragungsweg 1 wird sowohl zum Übertragen als auch zum Empfangen eingesetzt, wozu der Optokoppler 2 zum Mischen/Teilen dient. Das Übertragungsmodul (Laserdiodenmodul) 6 wird von der Laserdiode (LD) 7 gebildet, die über den Optokoppler 2 zum Mischen/Teilen ein optisches Signal an den Übertragungsweg 1 abgibt, sowie durch die Fotodiode (PD) B, die vorgesehen ist, um das optische Signal der Laserdiode zu überwachen. Das Empfangsmodul (PD Modul) 9 wird aus der Fotodiode (PD) 10 gebildet, mit der das optische Signal über den optischen Koppler 2 zum Mischen/Teilen empfangen wird. Mit der Abschlußschaltung 3 wird eine Rückkopplung des Signals von der Übertragungsseite zu der Empfangsseite innerhalb des Optokopplers 2 zum Mischen/Teilen mit vier Anschlüssen vermieden.

Die Fig. 2 zeigt ein Beispiel des Laserdiodenmoduls 6. Die Laserdiode 7, die innerhalb eines abgedichteten Gehäuses angeordnet ist, gibt Licht sowohl an ihrer Vorder- als auch an ihrer Rückseite ab, wobei das an der Vorderseite abgegebene Licht durch eine Linse an der oberen Seite des Gehäuses austritt und an dem außen liegenden Lichtleiter-Übertragungsweg geleitet wird und wobei das an der Rückseite abgegebene Licht von der Überwachungs-Fotodiode 8 empfangen wird.

In Fig. 3 ist ein Beispiel eines Optomodul-Abschnitts gezeigt, der sowohl das Laserdiodenmodul 6 als auch das Fotodiodenmodul 9 enthält. Die kreisförmigen Abschnitte in dieser Figur entsprechen Linsen zum Sammeln von Licht. In der Figur ist ein Beispiel eines Optomodul-Abschnitts gezeigt, bei dem ein Optokoppler 2 zum Mischen/Teilen dem in Fig. 3 gezeigten Optomodulabschnitt hinzugefügt ist.

Nun sei erneut auf Fig. 1 Bezug genommen, entsprechend dem in der Treiberschaltung für das Laserdiodenmodul 6 und das Fotodiodenmodul 9 der Laserdiodentreiber 12 die Laserdiode 7 treibt, die sich innerhalb des Laserdiodenmoduls 6 befindet, und zwar entsprechend der Eingangssignale (DATA IN und CLOCK IN). Ein Teil des von der Laserdiode 7 abgegebenen Lichts wird wie oben beschrieben von der Fotodiode B empfangen und an die APC-(automatische Leistungsregelung)-Schaltung 13 weitergeleitet. Die APC-Schaltung 13 überwacht das von der Laserdiode 7 abgegebene Licht und regelt die Funktionsweise des Laserdiodentreibers 12 derart, daß die Ausgangsleistung konstant gehalten wird. Die der APC-Schaltung hinzugefügte Schwellwertschaltung (CT) gewährleistet während des Treibens der Laserdiode 7 den Treiber-Schwellwertstrom.

Das von dem Fotodiodenmodul 9 empfangene Signal wird durch den Vorverstärker (Pre) 15 verstärkt, und anschließend wird das verstärkte Signal der nächsten Stufe der AGC-(selbstregelnde Verstärkungs)-Schaltung 16 zugeführt. Mit der AGC-Schaltung 16 erfolgt die Regelung der Verstärkung des Vorverstärkers 15 derart, daß der Pegel des empfangenen Signals konstant bleibt, und das von dieser Schaltung abgegebene Signal wird der nächsten Stufe zugeführt, die durch die Taktwiederherstellungs- und Bestimmungsschaltung 17 gebildet wird. In der Taktwiederherstellungs- und Bestimmungsschaltung 17 wird ein Taktsignal aus dem Eingangssignal extrahiert, und dieser Zeittakt wird zum Erzeugen der Signalform des empfangenen Signals benützt, und anschließend werden diese Signale nach außen abgegeben (DATA OUT und CLK OUT).

In Fig. 5 ist ein Beispiel eines detaillierteren Blockschaltbildes der APC-Schaltung 13 und der Schwellwertschaltung 14 entsprechend der oben beschriebenen Fig. 1 gezeigt.

In der Fig. 5 entsprechen die Konstantstromquelle (Ip) 21 zum Bereitstellen des Signaltreiberstroms und die Konstantstromquelle (Ib) zum Bereitstellen des Vorspannstroms für die Laserdiode 7 dem in Fig. 1 gezeigten (LD)-Treiber 12. Weiterhin setzt sich die in Fig. 1 gezeigte APC-Schaltung aus der in Fig. 5 gezeigten I/U-Umsetzschaltung 23, dem Verstärker (AMP) 23, dem Tiefpaßfilter (LPF) 25, dem Subtrahierer 27, der Referenzwert-Einstellschaltung 26 und dem Verstärker (AMP) 28 zusammen. Die in Fig. 1 gezeigte Schwellwertschaltung 14 besteht aus der Ib-Erzeugungsschaltung 29, der Temperatur-Kompensationsschaltung 30 und der Temperatur-Meßvorrichtung 31, die jeweils in Fig. 5 gezeigt sind.

Die APC-Schaltung ist so aufgebaut, daß die I/U-Umsetzschaltung 23 den Überwachungsstrom der Fotodiode 8 in eine Spannung umsetzt, wobei diese Überwachungsspannung durch den Verstärker 24 auf einen erforderlichen Pegel verstärkt wird und anschließend über den Tiefpaßfilter 25 geleitet und in einen Gleichspannungspegel umgesetzt wird. Der Subtrahierer 27 dient zum Feststellen eines Fehlers zwischen der Gleichspannung und der Referenzspannung ( $V_{ref}(I_p)$ ), die durch die Bezugswert-Einstellschaltung 26 gebildet wird, und diese Fehler-Spannung wird durch den Verstärker 28 verstärkt und an die Konstantstromquelle (Ip) 21 weitergeleitet, die dazu dient, einen Signaltreiberstrom abzugeben, der so geregelt wird, daß der Strom konstant verläuft. Die Temperatur-Kompensationsschaltung ist so aufgebaut, daß die Temperatur-Meßvorrichtung 31 die Temperatur des Laserdiodenmoduls 6 erfaßt und die Temperatur-Kompensationsschaltung 30 beispielsweise eine Tabelle benützt, in der entsprechend der erfaßten Temperaturen Stromwerte zum Umsetzen der erfaßten Temperatur in



einem Vorspannwert gespeichert sind. Die I-Erzeugungsschaltung 29 führt die Treiberregelung der Konstantstromquelle (Ib) 22 durch, mit der der Vorspannstrom entsprechend dem Vorspannwert gebildet wird.

Jedoch treten in einem optischen Kommunikationsmodul, wie es oben beschrieben ist, zahlreiche Probleme auf, wie weiter unten beschrieben und erläutert wird.

Das erste Problem ergibt sich aus den Beziehungen zwischen dem Treiberstrom (If) und der optischen Ausgangsleistung (Pf) der Laserdiode 7, die als elektro-optische Umsetzvorrichtung dient, wobei die Beziehungen in den Fig. 6a bis 9c gezeigt sind.

In der Fig. 6a bis 6c sind die allgemeinen Beziehungen zwischen dem Treiberstrom (If) und der optischen Ausgangsleistung (Pf) einer Laserdiode 7 gezeigt. Wie Fig. 6a zeigt, weist die Laserdiode 7 eine Umsetzcharakteristik auf, die im wesentlichen durch  $P_o = h \cdot (I_f - I_{th})$  beschrieben wird, und aus diesem Grund ergibt sich, wie in Fig. 6b gezeigt ist, der Eingangsstrom als die Summe des Vorspannstroms der Konstantstromquelle (Ib), die den Schwellstrom (Ith), entsprechenden Vorspannstrom fortlaufend abgibt, und dem Pulstreiberstrom der Konstantstromquelle (Ib), der zum Treiben des Signals vorgesehen ist und zwischen zwei Werten in Abhängigkeit von dem Eingangssignal verändert wird. Durch diese Vorgehensweise wird eine Ausgangssignalf orm erhalten, die eine lineare Abbildung der Eingangssignalf orm darstellt (Fig. 6c). Im Hinblick auf die zweite Komponente des Eingangsstroms erfolgt eine APC-Regelung in Abhängigkeit von dem Signal der Überwachungsfotodiode 8 für das optische Ausgangssignal, die innerhalb des Laserdiodenmoduls durchgeführt wird, so daß die Amplitude des Lichtausgangssignals auf einem vorbestimmten Wert gehalten wird.

Die Fig. 7 bis 9c zeigen ein Beispiel der Temperaturabhängigkeit der in den Fig. 6a bis 6c gezeigten Kennlinien.

Die Fig. 7 zeigt ein Beispiel der temperaturabhängigen Veränderung der Beziehung zwischen dem Laserdioden-Treiberstrom (If) und der optischen Ausgangsleistung (Pf), wie sie in Fig. 6a gezeigt ist.

Die Fig. 8a bis 8c zeigen die Beziehung zwischen der Signalf orm des treibenden Signals und der Signalf orm des optischen Ausgangssignals in dem Fall, in dem die Temperatur erhöht wird, wohingegen die Fig. 9a bis 9c die Beziehung zwischen der Signalf orm des treibenden Signals und der Signalf orm des optischen Ausgangssignals für den Fall zeigen, in dem die Temperatur herabgesetzt wird.

Wie in Fig. 7 gezeigt ist, nimmt bei zunehmender Temperatur der Schwellwertstrom (Ith) zu, und der Umsetzfaktor h nimmt ab. Von diesen beiden Größen kann die Veränderung des Umsetzfaktors h von der APC-Regelschleife ausgeglichen werden. Jedoch ist es bei der Anordnung entsprechend dem Stand der Technik nicht möglich, die Veränderung des Schwellwertstroms automatisch auszugleichen.

Läßt man die oben beschriebenen Veränderungen des Schwellwertstroms zu, wie in der Fig. 8a bis 8c gezeigt ist, so ergibt sich bei einer Zunahme der Temperatur ein Ansteigen des Schwellwertstroms der Laserdiode 7, so daß die steigende Flanke des Ausgangsimpulses zeitlich nicht ganz exakt bestimmt ist (Jittern) und sich eine Verminderung der Ausgangsimpulsbreite ergibt. Nimmt auf der anderen Seite die Temperatur ab, wie in der Fig. 9a bis 9c gezeigt ist, so nimmt der Schwellwertstrom ab, so daß sich eine Verminderung der Impulsbreite ergibt und eine Verschlechterung des Impulsaustauschverhältnisses aufgrund des überlagerten Gleichstromanteils. In beiden Fällen ergeben sich eine Vielzahl von Problemen, die zu einer Verschlechterung der Übertragungsqualität führen, wodurch der praktische Einsatz des Moduls als Kommunikationsmodul verhindert wird. Aus diesen Gründen war es üblich, die Temperaturabhängigkeit der Diode vorab zu bestimmen, indem die einzusetzende Diode entweder statistisch bestimmt oder deren Temperatureigenschaften wirklich gemessen wurden, wobei ein Vorspannstrom beispielsweise entsprechend einer Schwellwertschaltung mit dem in Fig. 5 gezeigten Aufbau zugeführt wurde, so daß die temperaturbedingten Veränderungen des Schwellwertstroms (Ith) ausgeglichen wurden.

Jedoch ergaben sich selbst bei Einsatz der Schwellwertschaltungs-Anordnung die folgenden Probleme.

<1> Selbst wenn der Schwellwertstrom (Ith) nahezu vollständig die Eigenschaft einer Exponentialfunktion aufweist ( $I_{th}(T_a) = I_{th0} \cdot \exp(T_a/T_0)$ ), wobei  $T_0$  eine charakteristische Temperatur darstellt und  $I_{th0}$  den Schwellwert bei der Bezugstemperatur  $T_a = 0K$  entspricht), ist es nicht möglich, eine gute Approximation zu gewährleisten, wenn nicht unterschiedliche Bezugstemperaturen in den Bereichen zwischen einer Zimmertemperatur und einer hohen Temperatur und der Zimmertemperatur und einer niedrigen Temperatur benützt werden, und eine Schaltungsrealisierung aufgrund dieser Approximation führt zu einer komplexen Temperatur-Ausgleichsschaltung. Wie ferner in der Fig. 8a bis 8c und Fig. 9a bis 9c gezeigt ist, tritt dann, wenn der Vorspannstrom (Ib) bezogen auf den Schwellwertstrom (Ith) entweder zu klein oder zu groß ist, eine Verschlechterung der Übertragungsqualität auf, und die Vorgehensweise zum Erzielen eines Ausgleichs ist außerordentlich schwierig durchzuführen.

<2> Zum Erzielen eines präzisen Temperatenausgleichs ist es erforderlich, die Temperaturkennlinie jeder einzelnen Laserdiode zu bestimmen, und dies führt zu einer Zunahme der Kosten der Laserdioden und optischen Modulen. Das zweite Problem tritt auf, wenn das optische Kommunikationsmodul vom oben beschriebenen Typ in einem TCM-(Zeitmultiplex)-System eingesetzt wird, in dem bidirektionale Kommunikation über einen einzigen Lichtleiter durchgeführt wird, wobei in einzelnen Zeitabschnitten zwischen Empfangen und Senden umgeschaltet wird. Im folgenden soll zunächst eine vereinfachte Beschreibung des TCM-Kommunikationssystems unter Bezug auf die Fig. 10a und 10b erfolgen, die zur Darstellung dieses Kommunikationssystems dient. Momentan wird eine Vielzahl von Topologien für optische Übertragungswege zu Teilnehmern eingesetzt. Die Fig. 10a zeigt die passive Doppelsternanordnung (PDS-Anordnung, passive double star), die eine der in TCM-Systemen eingesetzten Konfigurationen darstellt. In dieser Konfiguration erfolgt eine bidirektionale Kommunikation über einen einzigen Lichtleiter. Wie in Fig. 10b gezeigt ist, erfolgt die bidirektionale Kommunikation zwischen einem Amt (X) und einer Vielzahl von Teilnehmern (A bis D) auf der Grundlage eines Zeitmultiplex-Verfahrens und unter Umschaltung zwischen

Sende- und Empfangsbetrieb bei einem einzigen Lichtleiter. Dies ist als TCM-TDMA-System bekannt (TCM = time compression multiplex, TDMA = time division multiple access).

In diesem System wird bei der anfänglichen Systemeinstellung von dem Amt (X) 31 ein Entfernungsmeßimpuls an jedem Teilnehmer (A bis D) 33 bis 36 gesendet und der rückübertragene Impuls empfangen, um die Übertragungsverzögerung zu jedem der Teilnehmer zu bestimmen. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Messung werden Zeitabschnitte, in denen bestimmt, die die Übertragung von Daten an die Zentrale 31 möglich ist und jedem der einzelnen Teilnehmer 33 bis 36 so zugeordnet, daß die Signale der Teilnehmer nicht wechselseitig im Amt (X) kollidieren.

In der Fig. 10b, (i) ist die Datenübertragung von der Zentrale 31 zu jedem der Teilnehmer 33 bis 36 gezeigt, und unter (ii) ist die Datenübertragung von dem Teilnehmer (A) 31 zu der Zentrale 31 gezeigt, und in (iii) ist die Datenübertragung an die Zentrale 31 ausgehend von dem Teilnehmer (B) 34 gezeigt.

In diesem System können über einen Sternkoppler 32 eine große Anzahl von Teilnehmern 33 bis 36 an die Zentrale angeschlossen werden, und dieses System weist den Kostenvorteil auf, daß die Zentrale 31 mit dem Sternkoppler 32 über einen einzigen Lichtleiter verbunden werden kann.

Jedoch ergibt sich im Falle dieses Systems dann, wenn der Grundpegel des von dem Sendeteils abgegebenen Signals jedes der Teilnehmer 33 bis 36 nicht hinreichend klein ist, was dazu führt, daß der Grundpegel dem schwachen zu übertragenden Signal von einem entfernten Teilnehmer überlagert wird, das Problem einer möglichen Herabsetzung des 1-0-Lichtschwächungsverhältnis des in der Zentrale empfangenen Lichts. Dies bedeutet, daß das optische Schwächungsverhältnis der empfangenen Impulse vermindert wird, was zu einer großen Verschlechterung der Übertragungsqualität führt.

Die Fig. 11 zeigt die oben beschriebene Verschlechterung des Schwächungsverhältnisses bei dem empfangenen Impuls in der Zentrale.

Insbesondere wurden, wie in den Fig. 3 und 4 gezeigt ist, in der Vergangenheit sowohl das Laserdiodenmodul 6 als auch das Fotodiodenmodul 9 einzeln als Modul realisiert, wodurch eine weitergehende Verminderung der Größe des optischen Send-/Empfangsmoduls schwierig war. Dies führte zusätzlich im Hinblick auf die Herstellung dazu, daß aufgrund der unterschiedlichen Komponenten zum Senden und Empfangen in dem Send-/Empfangsmodul ein einzelnes Ausrichten der optischen Komponenten zum Senden und Empfangen erforderlich war, was zu einem Problem bei den Herstellungskosten führte.

Ferner müssen die Vorrichtungen zum Empfangen und Senden die Anschlüsse in dem Fall, in dem ein außerordentlicher Zustand auf dem Übertragungsweg auftritt, zuverlässig und in einfacher Weise eine Vielzahl von Problemen erkennen. Jedoch erfolgt, wie in Fig. 2 gezeigt ist, bei den Fotodiodenelement 8 zum Überwachen und in dem Laserdiodenmodul 6 lediglich ein Erfassen des Rücklichts der Laserdiode, und eine APC-Regelung (automatische Leistungsregelung) wird durchgeführt. Aus diesem Grunde war es nicht möglich, einen Verlust bei dem an den Übertragungsweg abgestrahlten optischen Ausgangssignal oder eine Verschlechterung der Laserdiode zu erfassen. Demnach war es nicht möglich, den Zustand zu erfassen, in dem kein Licht von dem Laserdiodenelement 7 in Senderichtung abgegeben wurde und in dem Licht von der Rückseite des Elements abgegeben wurde.

In den momentan eingesetzten optischen Modulen, wie sie oben beschrieben sind, werden drei sehr teure optische Halbleiterbauelemente eingesetzt: Die Laserdiode und Überwachungsfotodiode innerhalb des optischen Moduls zum Senden und die Fotodiode zum Empfangen des Lichts innerhalb des optischen Moduls zum Empfangen. Jedoch ist bei einem optischen Send-/Empfangsmodul für ein TCM-System, das von dem Zeit-Sende-/Empfangs-Multiplex-Umschaltmerkmal des TCM-Systems Gebrauch macht, der Einsatz derselben gemeinsamen Komponenten sowohl für den Send- als auch den Empfangsteil möglich, und insbesondere ist es möglich, ein und dasselbe Fotodiodenelement sowohl für das Überwachungs-Fotodiodenelement in dem optischen Sendemodul als auch für das Fotodiodenelement in dem optischen Empfangsmodul einzusetzen.

Durch den parallelen Einsatz dieser Fotodiode auf diese Weise wird das Element als normales lichtempfindendes Fotodiodenelement beim Empfang eingesetzt und als Fotodiode zum direkten Überwachen des von dem Laserdiodenelement beim Senden zu dem Leiter abgegebenen Licht benützt.

Fig. 12 zeigt den grundlegenden Aufbau eines optischen Kommunikationsmodul entsprechend der vorliegenden Erfindung. In Fig. 12 sind zum Erzielen eines einfacheren Verständnisses des Moduls Elemente, die funktionell mit Elementen des Beispiels aus dem Stand der Technik übereinstimmen, durch dieselben Bezugszeichen wie in dem Beispiel nach dem Stand der Technik bezeichnet.

Entsprechend der vorliegenden Erfindung enthält das optische Kommunikationsmodul einen Send-/Empfangsteil 6, 9, der das zu sendende Signal an den Übertragungsweg 1 als ein optisches Signal abgibt und ein optisches Signal von dem Übertragungsweg empfängt, sowie einen Treiberabschnitt 11, der das zu übertragende Signal an den Send-/Empfangsteil abgibt und das empfangene optische Signal als das Empfangssignal reproduziert, wobei dieser Treiberabschnitt 11 eine Schwellwertregelschaltung 14 enthält, die den Vorspannstrom der Laserdiode 7 so regelt, daß die optische Rauschleistung am Ausgang der Laserdiode 7, die durch die Fotodiode 10 zum Überwachen des Lichts am Ausgang erfaßt wird, maximiert wird, was dazu führt, daß der Vorspannstrom der Laserdiode 7 dem Schwellwertstromwert folgt.

Zusätzlich enthält entsprechend der vorliegenden Erfindung das optische Kommunikationsmodul einen Send-/Empfangsteil 6, 9, der das zu sendende Signal an den bidirektionalen Übertragungsweg 1 abgibt, der aus einem einzigen Lichtleiter besteht, und einen Treiberabschnitt 11, der das zu übertragende Signal an den Send-/Empfangsteil weiterleitet und das empfangene optische Signal als empfangenes Signal reproduziert, wobei der Send-/Empfangsteil 6, 9 eine Laserdiode 7 aufweist, die das zu übertragende Signal abgibt, sowie eine Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode 10, die nicht nur das von der Laserdiode 7 an den Übertragungsweg 1 abgegebene Licht während des Sendezeitabschnitts überwacht, sondern ebenso das von dem Übertragungsweg



empfangene optische Signal während dem Empfangszeitabschnitt empfängt, und ferner enthält das optische Kommunikationsmodul einen optischen Mischer/Teiler 2, der das Mischen und Teilen des empfangenen und zu übertragenden Lichts zwischen der Laserdiode 7 und der Fotodiode 10 durchführt, und ferner enthält der Treiberabschnitt 11 eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18, die das Zeitmultiplex-Sende-/Empfangs-Umschalten des Sende-/Empfangsteils 6, 9 regelt.

Zusätzlich enthält das optische Kommunikationsmodul entsprechend der vorliegenden Erfindung einen Sende-/Empfangsteil 6, 9, der das zu sendende Signal an den bidirektionalen Übertragungsweg 1 abgibt, der aus einem einzigen Lichtleiter aufgebaut ist, sowie einen Treiberabschnitt 11, der das zu übertragende Signal an den Sende-/Empfangsabschnitt abgibt und das empfangene optische Signal als empfangenes Signal reproduziert, wobei der Sende-/Empfangsteil 6, 9 eine Laserdiode 7 enthält, die das zu sendende Signal abgibt, sowie eine Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode 10, die nicht nur das von der Laserdiode 7 an den Übertragungsweg 1 abgegebene Licht während des Sendezeitabschnitts überwacht, sondern auf das vom Übertragungsweg während des Empfangszeitabschnitts empfangene optische Eingangssignal empfängt, und einen optischen Mischer/Teiler 2, der das Mischen und Teilen des empfangenen und gesendeten Lichts zwischen der Laserdiode 7 und der Fotodiode 10 durchführt, wobei der Treiberabschnitt 11 eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 zum Regeln des Zeitmultiplex-Sende-/Empfangs-Umschaltens des Sende-/Empfangsteils 6, 9 enthält sowie eine Schwellwertregelschaltung 14, die das aufeinanderfolgende Regeln des Vorspannstroms der Laserdiode 7 so durchführt, daß die optische Rauschleistung am Ausgang, die von der Fotodiode 10 überwacht wird, maximal wird.

Das optische Rauschen der Laserdiode (LD) weist einen gewissen Frequenzgang sowie eine Abhängigkeit von dem Verhältnis von Vorspannstrom zu Schwellwertstrom ( $I_b/I_{th}$ ) auf, wie in Fig. 14(a) und 14(b) gezeigt ist. Die Abhängigkeit von  $I_b/I_{th}$  des optischen Rauschens weist in dem Fall, in dem  $I_b$  ungefähr gleich groß ist wie  $I_{th}$  einen ausgeprägten Spitzenwert auf, wobei das optische Rauschen von diesem Punkt als Grenzlinienwert ausgehend exponentiell abfällt, wenn  $I_b$  zu- bzw. abnimmt. Demnach wird fast der gesamte Rauschanteil in dem Zeitabschnitt erzeugt, in dem  $DATA = 0$  gilt, wobei in diesem Zeitabschnitt der Laserdiodentreiberstrom ungefähr gleich dem Schwellwertstrom ist.

Im Hinblick auf die Frequenzverteilung des optischen Rauschens, die nahezu konstant verläuft, mit Ausnahme des Bereichs in der Nähe der Relaxations-Oszillationsfrequenz, ist anzumerken, daß das Leistungsspektrum eines digitalen Signals mit einer Bitrate von  $f_0$  im Idealfall einen Wert von Null bei den Frequenzen  $2n \cdot f_0$  aufweist (wobei  $n$  eine ganze Zahl ist).

Demnach ist es möglich, ein Nachführen von  $I_b$  entsprechend  $I_{th}$  mit einer minimalen Wechselwirkung zwischen den zu übertragenden Daten zu erreichen, wenn die  $2n \cdot f_0$  Anteile des überwachten Signals extrahiert werden und die nachfolgende Rückkopplungsregelung des Vorspannstroms so durchgeführt wird, daß das überwachte Signal maximiert wird, das aus  $2n \cdot f_0$  Rauschteilen besteht).

Entsprechend der vorliegenden Erfindung besteht in dem Fall, in dem die vorliegende Erfindung in einem TCM-System mit Zeitumschaltung zwischen Senden und Empfangen in dem Sende-Empfangsteil eingesetzt wird, die Möglichkeit, die Positionen des Laserdiodenelements und des Fotodiodenelements des früheren LD-Moduls des Sende-/Empfangsteils zu verändern und einen optischen Mischer/Treiber 2 hinzuzufügen, indem beispielsweise Schichten zum Trennen von Licht eingesetzt werden, so daß die Fotodiode 10 sowohl zum Empfangen als auch zum Überwachen des von der Laserdiode abgegebenen Lichts eingesetzt werden kann. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, nicht nur die Anzahl der optischen Halbleiterkomponenten von drei auf zwei herabzusetzen, sondern auch das Sende-/Empfangsmodul als eine einzige Einheit herzustellen, die im Rahmen einer Gruppe von Herstellungs-Prozessen hergestellt wird, so daß sowohl die Kompaktheit als auch geringe Herstellungskosten des Sende-/Empfangsteils gewährleistet sind. Zusätzlich wird dadurch, daß das von der Laserdiode 7 an dem Lichtleiter abgegebene Licht in Senderichtung über einen optischen Teiler/Mischer 2 mittels der Fotodiode 10 überwacht wird, eine einfache und genaue Erfassung von Ausgangsfehlern möglich, die beispielsweise aufgrund einer Dämpfung des Ausgangssignals der Laserdiode 7 oder einer Verschlechterung der Laserdiode 7 auftreten.

Ferner führt die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 das Umschalten entweder in Abhängigkeit von einem von außen zugeführten Sende-/Empfangs-Umschaltsignalen oder intern bzw. automatisch mit Hilfe eines internen Zeitgebers durch. Während des Sendens leitet die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 das von der Fotodiode 10 empfangene Signal an die APC-Schaltung 16 weiter, die das empfangene Signal auf einem konstanten Pegel hält. Im jetzigen Fall ist es durch den Einsatz eines Breitband-Vorverstärkers 15 in dem Empfangsteil möglich, das Ausfallsignal des Breitband-Vorverstärkers 15 an die APC-Schaltung 13 weiterzuleiten. Entsprechend dem Aufbau der vorliegenden Erfindung sind die APC-Regelung und die Schwellwertregelung selbst dann möglich, wenn eine Überwachungs-Fotodiode innerhalb der Laserdiode nicht vorgesehen ist.

Fig. 13 zeigt die erste Ausführungsform einer Schwellwert-Regelschaltung 14, die einen Teil der vorliegenden Erfindung darstellt, wobei diese Zeichnung das grundlegende Blockschaltbild zeigt. Elemente, die mit Elementen der Schwellwertregelschaltung nach dem Stand der Technik, wie sie in Fig. 6a bis 6c gezeigt ist, übereinstimmen und die bereits beschrieben wurden, wurden mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet. (Dies gilt ebenso für die Bezeichnungen der anderen Ausführungsformen dieser Schwellwertregelschaltung, die nachfolgend beschrieben werden).

Der Unterschied dieser Schwellwertregelschaltung im Vergleich zu der Schwellwertregelschaltung nach dem Stand der Technik, wie sie in der Fig. 6a bis 6c erläutert ist, besteht darin, daß auf die Temperatur-Meßvorrichtung 31, die Temperatur-Kompensationsschaltung 30 und die  $I_b$ -Erzeugungsschaltung 29 gemäß dem Stand der Technik verzichtet wird und an deren Stelle eine Regelungsschleife mit annähernd demselben Schaltungsaufbau wie bei der APC-Schaltung tritt.

Insbesondere enthält die Schwellwertregelschaltung 14 entsprechend der vorliegenden Erfindung eine Über-

wachungs-Fotodiode 8, die das Licht der Laserdiode 7 in einen Überwachungsstrom umsetzt, sowie eine I/U-Umsetzschaltung 101, die den Überwachungsstrom in eine Spannung umsetzt, eine Verstärkerschaltung 102 zum Verstärken des Ausgangssignals der I/U-Umsetzschaltung 101, einen Bandpaßfilter 103 zum Extrahieren der geraden  $2n \cdot f_0$ -Anteile entsprechend der Bitrate  $f_0$  von dem Ausgangssignal der Verstärkerschaltung 102, eine AM-Detektorschaltung 104, die die Einhüllende des Ausgangssignals des Bandpaßfilters 103 bestimmt, einen Tiefpaßfilter 105 zum Ausgleichen der Schwankungen des Ausgangssignals der AM-Detektorschaltung 104 (Schwankungen der übertragenen Daten und momentane Schwankungen des Impulstastverhältnisses), eine Referenzwert-Einstellschaltung 106 zum Erzeugen des erforderlichen Referenzwertes, einen Subtrahierer 107, der die Fehlerdifferenz zwischen dem Referenzwert und dem Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 105 bestimmt, und eine Fehlerverstärkerschaltung 108 zum Verstärken des Fehlers.

Die Fig. 14a bis 14c zeigt die Stromabhängigkeit und Frequenzmerkmale des optimalen Rauschgangssignals einer Laserdiode.

Das optimale Rauschverhalten einer Laserdiode, wie sie in Fig. 14 angezeigt ist, weist eine Abhängigkeit von dem Verhältnis des Vorspannstroms zu dem Schwellwertstrom ( $I_b/I_{th}$ ) auf, und ferner ergibt sich eine Frequenzverteilung dieser Abhängigkeit. Wie Fig. 14a zeigt, weist die  $I_b/I_{th}$ -Abhängigkeit des optischen Rauschens einen scharfen Spitzenwert bei  $I_b$  ungefähr gleich  $I_{th}$  auf, und bei einer Zu- und Abnahme von  $I_b$  fällt das optische Rauschen, ausgehend von diesem Punkt als Grenzlinie, exponentiell ab. Demnach wird nahezu der gesamte Rauschanteil in dem Zeitabschnitt erzeugt, in dem  $DATA = 0$  gilt, wobei während dieses Zeitabschnitts der Laserdioden-Treiberstrom ungefähr gleich dem Schwellwertstrom ist. Im Hinblick auf die Frequenzverteilung verläuft das optische Rauschen der Laserdiode nahezu konstant mit Ausnahme des Bereichs in der Nähe der Relaxations-Oszillations-Frequenz.

Das Leistungsspektrum eines übertragenen digitalen Signals mit einer Bitrate von  $f_0$ , so wie es in Fig. 14c gezeigt ist, weist idealerweise bei den Frequenzen  $2n \cdot f_0$  einen Anteil von Null auf (wobei  $n$  eine ganze Zahl ist). Werden demnach die Anteile bei  $2n \cdot f_0$  von dem überwachten Signal extrahiert und wird eine Rückkopplung so durchgeführt, daß die Amplitude des erfaßten Ausgangssignals maximiert wird, so wird nur der Rauschanteil extrahiert, und demnach kann dem Schwellwertstrom  $I_{th}$  mit minimaler Wechselwirkung zwischen den zu übertragenden Daten gefolgt werden. Die Fig. 14b zeigt das Verfahren zum Bestimmen von  $I_{th}$ , wobei sich der typische Kurvenverlauf dieser Darstellung aus der von der linken Seite ausgehenden Ansicht der Fig. 14a ergibt.

Unter erneutem Bezug auf Fig. 13 soll das aufeinanderfolgende Aktualisieren des Wertes von  $I_{th}$  mit Hilfe des in Fig. 14b gezeigten Verfahrens im folgenden erläutert werden. Unmittelbar nach dem Beginn des Betriebes wird der Vorspannstrom der Laserdiode 7 auf den Anfangswert  $I_{th0}$  eingestellt. In diesem Zustand wird aufgrund der Tatsache, daß die am Ausgang erfaßten  $2n \cdot f_0$ -Anteile kleiner als der Referenzwert  $V_{ref}$  ( $I_b$ ) ist, eine Rückkopplung derart durchgeführt, daß  $I_b$  zunimmt und sich  $I_b$  dem Wert von  $I_{th}(T_1)$  nähert ( $T_1$  ist die Umgebungstemperatur). Wird auf der anderen Seite  $I_{th0}$  ( $> I_{th}(T_1)$ ) als Anfangswert gewählt, so nimmt  $I_b$  ab und wird sich wie oben beschrieben in dem Bereich von  $I_{th}(T_1)$  einstellen.

Nachdem sich der Vorspannstrom  $I_b$  im Bereich von  $I_{th}(T_1)$  ausgehend von dem Anfangswert  $I_{th0}$  einstellt, verschiebt sich dann, wenn sich die Umgebungstemperatur von  $T_1$  zu  $T_2$  verändert (wobei gilt,  $T_2 > T_1$ ) und sich demnach eine Erhöhung von  $I_{th}$  einstellt, die  $V_R$  versus  $I_f$ -Kurve, die in Fig. 14c gezeigt ist, nach rechts. Da der Einstellungspunkt vor der Verschiebung A (das heißt, gilt  $I_b < I_{th}$ ), so nimmt durch die Verschiebung der Kurve nach rechts aufgrund einer Zunahme der Temperatur das erfaßte Ausgangssignal ab, so daß die Rückkopplung dieser Schaltung eine Zunahme von  $I_b$  bewirkt, woraufhin sie sich nochmal bei C in dem Bereich von  $I_{th}(T_2)$  einstellt, was einer automatischen Einstellung der Vorspannung entspricht.

Während der Unterschied zwischen  $I_{th}$  und den Einstellungspunkten A und B in Fig. 14c überzogen dargestellt ist, ergibt sich ferner aus Fig. 14a, daß die Bedingung, unter der sich das optische Rauschen ungefähr halbiert, in dem Bereich von  $-5\%$  auf der  $I_f < I_{th}$ -Seite und  $+1\%$  auf der  $I_f > I_{th}$ -Seite liegt. Demnach ist zu erkennen, daß auch bei der extrem einfachen Vorgehensweise zum Erzeugen eines festen Referenzwertes entsprechend Fig. 13 die Möglichkeit besteht, selbst bei einem Einstellfehler von  $50\%$  den Vorspannstrom in der unmittelbaren Nähe von  $I_{th}$  zu halten.

Die Fig. 15 zeigt die zweite Ausführungsform einer Schwellwertregelschaltung entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Während in Fig. 13 eine Ausführungsform mit einer vereinfachten Vorgehensweise zum Erzeugen eines festen Referenzwertes gezeigt wurde, ist es möglich, dieselbe Funktion entsprechend dem unten beschriebenen Beispiel bereitzustellen, in dem eine Vorrichtung wie ein Zähler und ein D/A-Umsetzer benützt werden, um nur eine sehr kleine Veränderung von  $D_{ib}$  zu verursachen und einen Vergleich der erfaßten Ausgangsamplitude vor und nach der Veränderung durchzuführen, um die Regelung so durchzuführen, daß der Vorspannstrom demjenigen Punkt folgt, in dem das optische Rauschen maximal wird (ungefähr gleich  $I_{th}$ ). Eine derartige Schaltungsanordnung ist in Fig. 15 gezeigt, die die zweite Ausführungsform darstellt.

Wie in Fig. 15 gezeigt ist, wird anstelle der Referenzwert-Einstellschaltung 106 und des Subtrahierers 107 aus Fig. 13 eine Abtastimpuls-Erzeugungsschaltung 106 vorgesehen, sowie eine Abtast-Halteschaltung 107, die das detektierte Ausgangssignal ( $V_N(ALT)$ ) entsprechend einem Abtastimpuls aus der Abtastimpuls-Erzeugungsschaltung 106 abtastet und hält, einen Komparator 108 zum Vergleichen der Amplitude  $V_N(ALT)$  und des momentan am Ausgang erfaßten Werts ( $V_N(NEU)$ ), einen Zähler 110 zum Zählen der Abtastimpulse, einen Zähler-Aufwärts/Abwärts-Umschaltteil 109 zum Auswählen der Aufwärtszählrichtung oder Abwärtszählrichtung für den Zähler 110 und einen Analog/Digital-(D/A)-Umsetzer 111 zum Umsetzen des Ausgangssignals des Zählers 110 in einen analogen Wert.

In Fig. 15 ist zur Vereinfachung der Erläuterung angenommen, daß zu Beginn des Betriebs  $I_b < I_{th}$  gilt, und ferner wird angenommen, daß das Ausgangssignal des Zähler-Aufwärts/Abwärts-Umschaltteils 109 den Zähler entsprechend der Abwärtszählrichtung einstellt (Dekrementieren). Wird der erste Abtastimpuls erzeugt, so wird

Ib entsprechend der Dekrementieranweisung verringert. Gleichzeitig wird der vor der Abnahme von Ib in der Abtasthaltungsschaltung 107 durch einen Abtastimpuls gehalten. Da die Beziehung  $I_b < I_{th}$  gilt, führt die Abnahme von Ib zu einer Abnahme des erfaßten Ausgangssignals der AM-Detektorschaltung 104, so daß der (+)-Eingang des Komparators 108 größer ist als der (-)-Eingang ( $V_N(ALT) > V_N(NEU)$ ). Aufgrund dieser Tatsache verändert sich das Ausgangssignal des Komparators so, daß im Zähler-Aufwärts/Abwärts-Umschaltteil 109 ein Inkrementieren angezeigt wird und der Zähler 110 demnach in den Aufwärtzzählmodus umgeschaltet wird ( $V_N(ALT) < V_N(NEU)$ ). 5

Hiernach nimmt Ib zu und die Zunahme von Ib verursacht eine Zunahme des erfaßten Ausgangssignals der AM-Detektorschaltung 104, bis der Punkt C entsprechend dem Spitzenwert des optischen Rauschens erreicht ist, so daß die Beziehung ( $V_N(ALT) < V_N(NEU)$ ) aufrechterhalten wird und während dieses Zeitabschnitts der Zähler 110 weiterhin aufwärts zählt. Wird der Punkt C aufgrund der Tatsache, daß bei zunehmenden Ib das erfaßte Ausgangssignal abnimmt ( $V_N(ALT) > V_N(NEU)$ ), überschritten, so wird das Ausgangssignal des Komparators erneut umgekehrt, und der Zähler 110 geht diesmal in den Abwärtzzählmodus über. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, eine Einstellung auf den Spitzenwert des Rauschens (Punkt C) bis auf eine minimale Veränderung  $\Delta I_b$  zu erreichen, die durch die Genauigkeit des D/A-Umsetzers festgelegt ist. Demnach kann selbst dann, wenn sich der Wert von  $I_{th}$  aufgrund von Temperaturschwankungen verändert, der Einstellbetrieb wiederholt werden, so daß Ib ungefähr gleich  $I_{th}$  gilt. 10 15

Die Fig. 16 zeigt die dritte Ausführungsform der Schwellwertregelschaltung entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Die in Fig. 16 gezeigte Ausführung stellt eine Variation der zweiten Ausführungsform dar, die in Fig. 15 gezeigt ist, wobei der grundlegende Betrieb dieser Ausführungsform mit demjenigen der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung übereinstimmt. 20

Der Unterschied im Hinblick auf die in Fig. 15 gezeigte Ausführungsform besteht darin, daß anstelle des Bandpaßfilters 103 zum Extrahieren der  $2n \cdot f_0$ -Anteile eine Gate-Schaltung 113 vorgesehen ist, wobei diese Gate-Schaltung schließt, wenn ein "1"-Signal übertragen wird, und die Gate-Schaltung öffnet, wenn ein "0"-Signal übertragen wird, also kein Signal vorliegt (das heißt, Rauschen vorliegt). 25

Während der Übertragung eines digitalen Signals besteht die Möglichkeit, daß der in Fig. 14b gezeigte Spitzenwert des Rauschens unbestimmt wird, da ein digitales Signal mit einer großen Amplitude in dem Bereich des Schwellwertpunkts C überlagert wird, und zwar dann, wenn  $2n \cdot f_0$ -Anteile in dem Zustand überlagert werden, in dem das digitale Signal in dem "1"-Zustand ist. Um dies zu vermeiden, ist die Gate-Schaltung 113 nur während des Zeitabschnitts geschlossen, in dem das übertragene Signal "1" ist, wodurch der digitale Signalanteil ausgeblendet wird. Durch diese Vorgehensweise, durch die lediglich der Rauschanteil weitergereicht wird, ist es möglich, eine zuverlässigere Nachführung von  $I_{th}$  zu erreichen. Es ist auch möglich, eine Kombination des Bandpaßfilters 103 zum Extrahieren der  $2n \cdot f_0$ -Anteile wie er in Fig. 15 gezeigt ist, und der Gate-Schaltung 113 dieser Ausführungsform zu benutzen, um eine noch genauere Rauschextrahierung zu erreichen. 30 35

Fig. 17 zeigt die vierte Ausführungsform der Schwellwertregelschaltung entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Die in Fig. 17 gezeigte Ausführungsform ist auf eine weitere Form der zweiten Ausführungsform, die in Fig. 15 gezeigt ist, wobei der grundlegende Betrieb dieser Ausführungsform mit derjenigen der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung übereinstimmt. 40

Der Unterschied zu der in Fig. 15 gezeigten Ausführungsform besteht in dem Hinzufügen einer Zähler-Schwellwertschaltung 114 zu der Ausführungsform gemäß Fig. 15. Diese Zähler-Schwellwertschaltung 114 ist vorgesehen, um die zufällige Zunahme und Abnahme von Ib in den Bereich des Einstellpunkts (Punkt C) zu beenden. Diese Vorgehensweise ist insbesondere in dem Fall wirksam, in dem das opto-elektrische Umsetzverhältnis  $\eta$  hoch ist und in dem ein billiger D/A-Umsetzer mit niedriger Auflösung eingesetzt wird. Der Grund hierfür ist darin, zu sehen, daß in der Anordnung der zweiten Ausführungsform, wie sie in Fig. 15 gezeigt ist, in dem Bereich des Punkts C Ib sich maximal in einem Bereich von ungefähr  $2 \cdot \Delta I_b$  verändern kann, und eine Verschlechterung des Schwächungsverhältnis kann auftreten. 45

Die Fig. 18a und 18b zeigt ein Beispiel einer Schaltungsanordnung der in Fig. 17 gezeigten Schwellwertschaltung, wobei die Fig. 18a dem Blockschaltbild und die Fig. 18b einem Zeitablaufdiagramm zum Darstellen der grundlegenden Zeitabläufe entspricht. 50

In Fig. 18a gibt ein Modulo-M-Zähler 201 einen Rücksetzimpuls jedesmal dann ab, wenn M Abtastimpulse von der Abtastimpuls-Erzeugungsschaltung 106 empfangen wurden. Während der Modulo-2-Aufwärts/Abwärts-Zähler 204 periodisch durch den Modulo-M-Zähler rückgesetzt wird, wird das Übertragsausgangssignal (CO, carry-Ausgangssignal) ausgegeben, wenn die Differenz zwischen den Aufwärtsimpulsen und Abwärtsimpulsen (A-B) den Zählerstand des Einstellwerts entsprechend  $D_0$  bis  $D_n$  übersteigt. Das CO-Signal wird dem SET-Eingangsanschluß der R/S-Flip-Flop-Schaltung 205 zugeführt, wobei der SET-Ausgang Q dieser Schaltung ein Öffnen der Gate-Schaltungen 207 und 208 zum Bilden der Aufwärtzzähl- und Abwärtzzähl-Impulse (A und B) bewirkt und der Betrieb des Hauptzählers 110 anschließend durch die Gate-Ausgangssignale (A' und B') ausgelöst wird. 55 60

Solange das CO-Signal nicht ausgegeben wird, bleiben die Gate-Schaltungen 207 und 208 geschlossen und der Betrieb des Hauptzählers 110 wird unterbrochen, und der Zählwert des Hauptzählers 110, der das Ausgangssignal des D/A-Umsetzers bestimmt, wird nicht aktualisiert. Demnach nimmt nach dem Erreichen des Punktes C Ib so lange einen konstanten Wert an, bis sich der Wert von  $I_{th}$  beispielweise aufgrund einer Temperaturschwankung verändert, die zu einer Störung des Gleichgewichts des Aufwärtzzählimpulses und der Abwärtzzählimpulse führt. Um ein zuverlässiges Starten dieser Schaltung zu gewährleisten, erzwingt der Komparator 203 zum Erfassen eines Abfallens des Rauschpegels unter einen vorgegebenen Wert das Rücksetzen der R/S-Flip-Flop-Schaltung 206, wodurch der Betrieb der Schwellwertschaltung unterhalb eines vorgegebenen 65

Rauschpegels ausgesetzt wird.

Die Fig. 19a und 19b zeigt ein Beispiel einer Schaltungsanordnung der Schwellwertschaltung nach Fig. 17, wobei die Fig. 19a das Blockschaltbild und die Fig. 19b eine Darstellung zum Beschreiben des Betriebs der Schaltung zeigt. Im Gegensatz zur Fig. 18a, die eine digitale Schwellwertschaltung mit Zählern zeigt, wird bei dieser Ausführungsvariante ein Komparator zum Durchführen einer analogen Signalverarbeitung eingesetzt.

Entsprechend Fig. 19a werden die Zählimpulse A und B in analoge Signale mit entgegengesetzten Amplitudeneigenschaften jeweils durch die +1-Schaltung 209 und die -1-Schaltung 210 umgesetzt. Jedes dieser Signale wird in der nächsten Stufe in einem Integrator ( $\Sigma$ ) aufeinanderfolgend aufaddiert und als ein stufenförmiges Signal ausgegeben (entsprechend der Signalförmigkeit C in Fig. 19b). Dieses Ausgangssignal wird durch einen Tiefpaßfilter 211 gefiltert, wodurch das Ausgangssignal geglättet wird (durchgezogene Signalförmigkeit D in Fig. 19b).

Das Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 211 wird gleichzeitig an den Komparator 212 geleitet, dessen oberer Grenzwert auf den Referenzschwellwert ( $V_{th1}$ ) eingestellt ist, sowie an den Komparator 213, dessen unterer Grenzwert auf den Referenzschwellwert ( $V_{th2}$ ) eingestellt ist. In dem Fall, in dem die Anzahl der Impulse pro Zeiteinheit für die Aufwärtszähl-Impulse und die Abwärtszähl-Impulse in etwa übereinstimmt, liegt das gefilterte Ausgangssignal des Integrators D innerhalb des durch  $V_{th1}$  oder  $V_{th2}$  vorgegebenen Bereichs, und in diesem Fall nimmt lediglich das Ausgangssignal der ODER-Schaltung 216, deren Eingänge mit den Ausgängen der Komparatoren 212 und 213 verbunden sind, einen L-Pegel ein, und die Gate-Schaltungen 207 und 208, die im Hinblick auf die Fig. 18a erläutert wurden, sind geschlossen, und der Zählerstand des Hauptzählers 110 wird nicht aktualisiert. Demnach wird der Wert von Ib beibehalten. Wie in dem Fall der Fig. 18a wird auch in diesem Beispiel ein Komparator 216 hinzugefügt, der der Inbetriebnahme dient.

Fig. 20 zeigt die fünfte Ausführungsform der Schwellwertregelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 21 ist eine Darstellung, mit der der Zusammenhang zwischen dem Sende-/Empfangs-Umschaltsignal und dem Laserdioden-Treiberstrom von Fig. 20 verdeutlicht wird.

Obgleich die grundlegende Schaltungsanordnung der Fig. 20 mit derjenigen der vierten Ausführungsform, die in Fig. 17 gezeigt ist, übereinstimmt, ist in dieser Ausführungsform eine mit dem Umschalten zwischen Senden/Empfangen in Verbindung stehende Schaltung hinzugefügt, entsprechend dem Einsatz dieser Ausführungsform im Rahmen der TCM-Kommunikation. Wie bereits früher unter Bezug auf die Fig. 10a, 10b und 11 erläutert, werden in dem TCM-TDMA-System andere übertragene optische Grundsignale dem von einer entfernten Stelle zu übertragenden Signal überlagert, wodurch im Amt X Probleme aufgrund eines herabgesetzten 1/0-Intensitätsverhältnisses entstehen und sich eine Verschlechterung der Übertragungsqualität ergibt. In dieser Ausführungsform ist zusätzlich zu den zahlreichen Vorgehensweisen zum Nachführen des Schwellwertstroms ( $I_{th}$ ) eine Vorspannstrom-An-/Abschalt-Vorrichtung zum Vermeiden einer Wechselwirkung aufgrund einer Grundemission von Licht vorgesehen, damit der Einsatz bei einem optischen Übertragungsweg nach Fig. 10a und 10b mit einer passiven Doppelsternschaltung (PDS passive double star) möglich wird.

Da in Fig. 20 der grundlegende Aufbau des Teils zum Nachführen von  $I_{th}$  mit demjenigen der vierten Ausführungsform, die in Fig. 17 gezeigt ist, übereinstimmt, wird auf eine Erklärung dieses Teils verzichtet. Jedoch wurde in dieser Ausführungsform ein Sicherheits-Register 115 hinzugefügt, um den Wert des D/A-Umsetzers 111 unmittelbar nach dem Abschluß der Übertragung zu sichern. Das in der Figur gezeigte Sende-/Empfangs-Umschaltsignal (SW1) ist ein Regelsignal, das intern von den Übertragungsvorrichtungen bei dem Amt X erzeugt wird, wobei dieses Signal auf einen H-Pegel geht, bevor Daten übertragen werden und ungefähr gleichzeitig mit den zu übertragenden Daten auf einen L-Pegel umgeschaltet wird. Im folgenden wird der Fall des ersten Umschaltens von dem Empfangszustand zum Senden erläutert (vgl. Fig. 21 im Hinblick auf die Signalverläufe zum Regeln und den Zeitablauf).

Zunächst wird der D/A-Umsetzer 111 in den anfänglichen Empfangszustand gesetzt, so daß der Vorspannstrom Ib Null beträgt. Anschließend wird der Inhalt des Sicherheits-Registers 115 vor dem Übertragen von Daten bei dem Übergang des Sende-/Empfangs-Umschaltsignal von einem L-Pegel auf einen H-Pegel an die Eingänge des D/A-Umsetzers 111 kopiert. Da der Anfangswert hierbei Null beträgt, steigt der Vorspannstrom ausgehend von Null an. Während des Sendezeitabschnitts wird das Nachführen von  $I_{th}$  durchgeführt, wie bei der vierten Ausführungsform beschrieben, und Ib stellt sich in den Bereich von  $I_{th}$  ein. Anschließend geht am Ende des Sendezeitabschnitts das Sende-/Empfangs-Umschaltsignal von einem H-Pegel auf einen L-Pegel über. Ist dies der Fall, so werden die Eingangsdaten des D/A-Umsetzers 111 in dem Sicherheitsregister 115 gesichert, und der D/A-Umsetzer 111 wird rückgesetzt. Demnach geht der Vorspannstrom wieder auf Null zurück, so daß die Erzeugung einer Grundemission vermieden wird, die während des Empfangszeitabschnitts ein Problem darstellte. Da bei dem Sendebetrieb bis auf das erstmalig das Nachführen aufgrund der Daten des vorhergehenden Betriebs als Anfangsdaten erfolgt, kann das Einstellen in einem kürzeren Zeitabschnitt erreicht werden.

Die Fig. 22 zeigt die sechste Ausführungsform der Schwellwertregelschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung.

Während der grundlegende Schaltungsaufbau dieser Ausführungsform mit derjenigen der zweiten Ausführungsform übereinstimmt, die in Fig. 15 gezeigt ist, ist in dieser Ausführungsform ein  $I_{th}$ -Überwachungsausgang und ein  $I_{th}$ -Alarmausgang in der  $I_{th}$ -Nachführschaltung zum Erfassen einer Verschlechterung der Laserdiode vorgesehen, und aufgrund dieser Hinzufügung sind ein  $I_{th}$ -Alarm-Referenzdatenteil 117 und ein Größenkomparator 116 zusätzlich vorgesehen.

Unabhängig von der heutigen fortgeschrittenen Herstellungstechnologie sind aufgrund der im Vergleich zu digitalen Schaltungskomponenten niedrigen Zuverlässigkeit von optischen Komponenten eine Vielzahl von Überwachungs-Ausgangsanschlüssen bei den Sende-/Empfangs-Modulen vorgesehen, um eine Verschlechterung der Vorrichtung zu erfassen und ein Ersetzen oder Richten vor einem vollständigen Unterbrechen der Kommunikation zu ermöglichen. In einem Übertragungsmodul ist eine Laserdioden-Treiberstrom-Überwachung als eine derartige Überwachung vorgesehen. Um jedoch eine Aufnahme einer derartigen analogen Überwachung in

den Kommunikationsvorrichtungen, die im wesentlichen digitale Schaltungen sind, zu ermöglichen, ist es erforderlich, mit Hilfe von A/D-Umsetzern eine Umsetzung in digitale Signale durchzuführen, entweder innerhalb oder außerhalb der Sende-/Empfangsmoduln.

In dieser Ausführungsform kann aufgrund der Tatsache, daß ein D/A-Umsetzer bereits zum Regeln von I<sub>b</sub> eingesetzt wird, dann, wenn das digitale Eingangssignal eines D/A-Umsetzers 110 nach außen geführt wird, dieses von der Kommunikationsausrüstung zum Überwachen von I<sub>th</sub> gelesen werden. Wird auch der obere Grenzwert von I<sub>th</sub> vorab in dem I<sub>th</sub>-Alarm-Referenzdatenteil 117 gespeichert und wird ein Vergleich zwischen diesem Wert und dem digitalen Eingangssignal des D/A-Umsetzers 110 durchgeführt, so ist es möglich, ein I<sub>th</sub>-Alarm-Ausgangssignal zu bilden.

Soeben erfolgte eine detaillierte Beschreibung der Schwellwertregelschaltung eines optischen Kommunikationsmoduls entsprechend der vorliegenden Erfindung und der einzelnen Varianten dieser Schwellwertregelschaltung.

Nun folgt eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus der Sende-/Empfangs-Umschaltvorrichtung und des bidirektionalen optischen Moduls unter Berücksichtigung des Einsatzes dieser Umschaltvorrichtung in einem optischen Kommunikationsmodul entsprechend der Erfindung, das in einem TCM-System benützt wird. Die Fig. 23 und die Fig. 24 zeigen jeweils ein Blockschaltbild zum Darstellen des Aufbaus eines optischen Kommunikationsmoduls, in das eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung mit einbezogen ist.

In der Fig. 23 und der Fig. 24 sind diejenigen Teile, die funktionell mit demjenigen der zahlreichen Schaltteile, wie sie in Fig. 1 gezeigt sind, übereinstimmen, mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet, und diese Teile sollen hier nicht erläutert werden. Zur Vereinfachung der Darstellungen sind die APC-Schaltung 13 und die Schwellwertregelschaltung 14 jeweils als ein einziger Block dargestellt.

In Fig. 23 ist der Fall gezeigt, in dem die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 extern dadurch geregelt wird, daß ein Sende-/Empfangs-Umschaltssignal von der Kommunikationsausrüstung zugeführt wird. Während des Sendezeitabschnitts regelt die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 die Schwellwertregelschaltung 14, wie in der APC-Schaltung von Fig. 13 und bei der fünften Ausführungsform nach Fig. 20 gezeigt ist, und unterbricht die Regelung der AGC-Schaltung 16 in dem Empfangsteil. Während des Empfangszeitabschnitts unterbricht sie jedoch die Regelung der APC-Schaltung 13 und der Schwellwertregelschaltung 14 und regelt die AGC-Schaltung 16.

In dieser Ausführungsform, in der in vorteilhafter Weise von der Sende-/Empfangs-Umschaltung Gebrauch gemacht wird, die für das TCM-System typisch ist, wird das während des Sendens von der Laserdiode 7 abgegebene Licht über einen optischen Koppler 2 geleitet und durch die Fotodiode 10 überwacht, so daß die getrennt ausgebildete Überwachungsfotodiode, wie sie bei Sendeteilen nach dem Stand der Technik üblich ist, nicht mehr erforderlich ist. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, nicht nur eine Integration des Sende-/Empfangsmoduls 6, 9, sondern auch einen hohen Grad an Kompaktheit sowie geringe Kosten für Sende-/Empfangsmoduls zu erreichen. Zusätzlich ist durch die Überwachung des tatsächlich während des Sendens abgegebenen Lichts eine genaue und zuverlässige Erfassung einer Vielzahl von weiteren Ausfallfehlern möglich, beispielsweise eine Unterbrechung des Ausgangssignals oder eine Verschlechterung der Laserdiode.

Zusätzlich bietet die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung 18 aus Fig. 23 neben der Möglichkeit, Regelsignale zu bilden, mit denen eine Sende-/Empfangsumschaltung der APC-Schaltung 13, der Schwellwertregelschaltung 14 und der AGC-Schaltung 16 erfolgt, die Möglichkeit einer Übertragungsweg-Umschaltfunktion während des in Fig. 3 gezeigten Übertragungszeitabschnitts, wobei entsprechend dieser Funktion der Übertragungsweg des gesendeten Lichts, das durch die Fotodiode 10 des Empfangsteils überwacht wird, zu der APC-Schaltung 13 und der Schwellwertregelschaltung 14 geleitet wird. Mit Hilfe dieses Aufbaus kann das Ausgangssignal des Breitband-Vorverstärkers 15 des Empfangsteils von der APC-Schaltung 13 verarbeitet werden.

Obgleich das in Fig. 24 gezeigte Beispiel dem soeben beschriebenen Beispiel, das in Fig. 23 gezeigt ist, entspricht, besteht in diesem Fall der Unterschied im Hinblick auf das in Fig. 23 gezeigte Beispiel darin, daß Elemente wie ein Zeitgeber in dem Kommunikationsmodul benutzt werden, um ein unabhängiges automatisches Sende-/Empfangs-Umschalten zu ermöglichen.

Entsprechend dem in Fig. 23 gezeigten Beispiel ist es aufgrund des Aufbaus der vorliegenden Erfindung selbst ohne den Einsatz der Fotodiode innerhalb des Laserdiodenmoduls möglich, eine APC-Regelung durchzuführen, und die Möglichkeit, das in Senderichtung von der Laserdiode 7 abgegebene Licht zu überwachen, bedeutet, daß das wirklich übertragene Licht überwacht wird, wodurch eine genaue und zuverlässige Erfassung von Bedingungen zu erreichen ist, beispielsweise der Unterbrechung des abgegebenen Lichts und die Verschlechterung der Laserdiode. Weiter ist durch den Verzicht auf die Überwachungsfotodiode innerhalb der Laserdiode eine Verringerung der Kosten der Abmessungen und die integrierte Herstellung des Sende-/Empfangsteils möglich.

Die Fig. 25 bis 28 zeigen Beispiele des Aufbaus des Sende-/Empfangsteils 6, 9 der vorliegenden Erfindung, gemäß der in derselben Einheit Sende- und Empfangsbauteile realisiert werden. In jeder dieser Figuren werden unabhängig von der Tatsache, daß eine Vielzahl von Bauteilen als optische Mischer/Teiler 2 eingesetzt werden, diese jeweils mit denselben Bezugszeichen 2 gekennzeichnet, um die Beziehung zwischen diesen aufzuzeigen.

Die Fig. 25 zeigt den Aufbau einer vereinheitlichten Kombination des optischen Sende-/Empfangsteils 6, 9, in dem ein Fotodiodenchip 10, der mit einem Kopplerfilm versehen ist, in einer 45°-Ausrichtung zu der Vorderseite des Laserdiodenchips 7 angeordnet ist.

Entsprechend Fig. 25 tritt derjenige Teil des von der Laserdiode 7 ausgehenden Lichts, der durch den auf der lichtempfangenden Fläche der Fotodiode 10 ausgebildeten halbdurchlässigen Kopplerfilm (Halbspiegel) 2 hindurchtritt durch die Linse 120 und trifft auf die Faser 1. Auf der anderen Seite wird derjenige Teil des Signallichts, der von der Faser 1 abgegeben wird und durch den Kopplerfilm 2 hindurchtritt, von der Fotodiode 10 als das empfangene Signal empfangen. Im Falle dieser Ausführungsform ist aufgrund der Überwachung des in Senderichtung von der Laserdiode 7 abgegebenen Lichts die Rückwärtsemission von Licht durch die Laserdiode 7



nicht erforderlich, wodurch sich der Vorteil ergibt, daß der Einsatz einer Laserdiode mit einem hohen Abstrahlvermögen möglich wird, was mit den üblichen Laserdioden schwierig ist.

Im Falle dieser Anordnung ergibt sich die Abmessung  $W_1$  des Faserlichtausgangs auf der Fotodiodenfläche aus der folgenden Gleichung (1)

$$\omega_1 = \frac{l_1}{l_2} \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b_0}\right)^2} \quad 1)$$

$$b_0 = \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{l_1}{l_2} \omega_0\right)^2 \quad 2)$$

Werden beispielsweise die zahlreichen Werte entsprechend Fig. 25 so gewählt, daß gilt  $w_0 = 5 \mu\text{m}$ , Lichtwellenlänge  $\lambda = 1,31 \mu\text{m}$ ,  $l_1 = 2 \text{ mm}$  und  $l_2 = 5 \text{ mm}$ , so ergibt sich aus Gleichung (1) die Beziehung  $w_1 = 0,21d$ . Hieraus ergibt sich, daß es ausreichend ist, die Entfernung zwischen den Laserdioden- und Fotodiodenchips in einen Bereich von  $240 \mu\text{m}$  zu wählen, was einen erreichbaren Wert darstellt, um die Beziehung  $\varnothing > 2w_1$  zu erfüllen, damit die Wechselwirkungseffizienz der Fotodiode unter Berücksichtigung des Lichtempfangsradius  $\varnothing = 100 \mu\text{m}$ , erhöht wird.

Die Fig. 26 zeigt den Aufbau in dem Fall, in dem ein dreieckförmiges Prisma 2 mit einem Kopplerfilm und einem Vollreflexionsfilm zwischen der Laserdiode und der Fotodiode 10 angeordnet ist.

Der Anteil des von der Laserdiode 7 abgegebenen Lichts, der durch den Kopplerfilm hindurchtritt, wird gebrochen, tritt durch das Prisma, wird von dem Vollreflexionsfilm reflektiert und trifft auf die Fotodiode 10 als Überwachungslicht. Auf der anderen Seite wird derjenige Teil des Signallichts, der von der Faser 1 abgegeben wird und durch den Kopplerfilm hindurchtritt, reflektiert und trifft auf die Fotodiode 10 als empfangenes Licht. In diesem Beispiel besteht der Vorteil, daß die Laserdiode 7 und die Fotodioden 10 zueinander parallelen angeordnet werden können.

Die Fig. 27 zeigt den Aufbau in dem Fall, in dem ein rechteckiges Prisma 2 mit einem Kopplerfilm und einem Vollreflexionsfilm zwischen der Laserdiode 7 und der Fotodiode 10 angeordnet ist.

Die grundlegende Funktionsweise in dem Fall von Fig. 27 stimmt mit derjenigen von Fig. 26 überein. Jedoch ist es bei diesem Aufbau möglich, die Einbaurichtung nicht nur für die Laserdiode 7 und die Fotodiode 10 gleich zu wählen, sondern ebenso für das Prisma 2.

Die Fig. 28 zeigt den Aufbau in dem Fall, in dem ein Lichtleiter-2x2-Koppler oder ein Koppler mit verschmolzenen Fasern als optischer Mischer/Teiler eingesetzt wird.

In dem in Fig. 28 gezeigten Aufbau sind die Laserdiode 7 und die Fotodiode 10 an den Eingangs-/Ausgangs-Anschlüssen des 2x2-Kopplers 2 angeordnet, wobei an einem der Eingangs-/Ausgangsanschlüsse des anderen Endes die Faser angeordnet ist und am anderen Eingangs-/Ausgangsanschluß ein Vollreflexionsfilm 125 angeordnet ist. In diesem Fall wird das von der Laserdiode 7 abgegebene Licht innerhalb des Kopplers in zwei Teile aufgeteilt, wobei ein Teil des Lichts in die Faser 1 eingekoppelt wird und der andere Teil des Lichts von dem Vollreflexionsfilm 125 reflektiert wird und weiter innerhalb des Kopplers in zwei Teile aufgeteilt wird und auf die Fotodiode 10 trifft. Wird beispielsweise ein 3-dB-Koppler eingesetzt, so empfängt die Fotodiode 10 25% des von der Laserdiode 7 abgegebenen Lichts und der Anteil des an die Faser 1 abgegebenen Lichts beträgt 50%.

In all den oben beschriebenen Ausführungsformen läßt sich die Kopplungswirkung zwischen der Laserdiode und der Fotodiode dadurch beeinflussen, daß das Teilungsverhältnis des Kopplers 2 verändert wird.

Wie oben beschrieben, ist aufgrund der Tatsache, daß in einem optischen Kommunikationsmodul entsprechend der vorliegenden Erfindung ein Nachführen des Laserdioden-Vorspannstroms ( $I_b$ ) entsprechend dem Schwellwertstrom ( $I_{th}$ ) erfolgt, ein einfaches Testen und Anpassen des optischen Kommunikationsmoduls außerordentlich einfach möglich. Da eine Nachführung erfolgt, ist es nicht erforderlich, die Temperaturabhängigkeit von  $I_{th}$  zu bestimmen, so daß sich eine Verringerung der Herstellungskosten des optischen Kommunikationsmoduls erzielen läßt.

Insbesondere dann, wenn dieses optische Kommunikationsmodul in einem TCM-System eingesetzt wird, kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Einsatz einer Überwachungsfotodiode innerhalb der Laserdiode vermieden werden, so daß eine Kombination der Empfangs- und Sendemoduln innerhalb eines einzigen Moduls möglich ist, was insgesamt zu einem hohen Maß an Kompaktheit und zu einer Reduzierung der Kosten führt. Da zusätzlich das von der Laserdiode in Senderichtung abgegebene Licht überwacht wird, kann in genauer und einfacher Weise eine Unterbrechung des tatsächlich übertragenen Lichts und eine Verschlechterung der Laserdiode erfaßt werden.

#### Patentansprüche

##### 1. Optisches Kommunikationsmodul, enthaltend:

einen Sende-/Empfangsteil (6, 9) zum Abgeben des zu sendenden Signals an einen Übertragungsweg (1) in Form eines optischen Signals und zum Empfangen eines optischen Signals von dem Übertragungsweg (1), und

einen Treiberteil (11), der das zu sendende Signal an den Sende-/Empfangsteil (6, 9) weiterleitet und das empfangene optische Signal als das empfangene elektrische Signal reproduziert, wobei der Treiberteil (11) eine Schwellwertregelschaltung (14) enthält, die zum Regeln des Vorspannstroms ( $I_b$ ) einer Laserdiode (7)



in einer Weise dient, daß das von einer Fotodiode (10) zum Überwachen des abgegebenen Lichts erfaßte optische Rauschen der Laserdiode (7) maximiert wird, wodurch der Vorspannstrom ( $I_b$ ) der Laserdiode (7) dem Schwellwertstrom ( $I_{th}$ ) nachgeführt wird.

2. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner enthält:

eine I/U-Umsetzschaltung (101) zum Umsetzen des Überwachungsstroms der Fotodiode (8) in eine Spannung, 5

eine Verstärkerschaltung (102) zum Verstärken der aus dem optischen Ausgangsrauschen abgeleiteten Spannung auf den erforderlichen Pegel,

einem Bandpaßfilter (103), der diejenigen Anteile des übertragenen Signals durchläßt, die geradzahlige Vielfache der Taktfrequenz  $f_0$  sind ( $2n \cdot f_0$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl ist), 10

eine Detektorschaltung (104) zum Abgeben eines gleichgerichteten Bandpaßfilter-Ausgangssignals, einen Verstärker (108), der die Differenz zwischen dem gleichgerichteten Ausgangssignal der Detektorschaltung (104) und einem erforderlichen Referenzwert  $V_{ref}$  ( $I_b$ ) derart bildet, daß das optische Ausgangsrauschen der Laserdiode (7) maximiert wird, und

eine Vorspannstrom-Regelschaltung (21, 22) zum Regeln des Vorspannstroms ( $I_b$ ) der Laserdiode (7) 15 entsprechend dem Ausgangssignal des Verstärkers (108).

3. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner enthält:

eine I/U-Umsetzschaltung (101) zum Umsetzen des Überwachungsstroms der Fotodiode (8) in eine Spannung, 20

eine Verstärkerschaltung (102) zum Verstärken der aus dem optischen Ausgangsrauschen abgeleiteten Spannung auf den erforderlichen Pegel,

einem Bandpaßfilter (103), der diejenigen Anteile des übertragenen Signals durchläßt, die geradzahlige Vielfache der Taktfrequenz  $f_0$  sind ( $2n \cdot f_0$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl ist),

eine Detektorschaltung (104) zum Abgeben eines gleichgerichteten Bandpaßfilter-Ausgangssignals, eine Abtastimpuls-Erzeugungsschaltung (106), die ein Taktsignal zum Abtasten des gleichgerichteten Ausgangssignals der Detektorschaltung (104) erzeugt, 25

eine Abtast-Halte-Schaltung (107) zum Abtasten und Halten des gleichgerichteten Ausgangssignals entsprechend dem Abtast-Takt der Abtastimpuls-Erzeugungsschaltung (106),

einen Komparator (108) zum Vergleichen des gleichgerichteten Ausgangssignals der Detektorschaltung (104) mit dem abgetasteten und gehaltenen Wert des vorangegangenen Taktzyklus der Abtast-Halte-Schaltung (107) zum Erfassen der Zu- oder Abnahme der optischen Rauschanteile, 30

einen regelbaren Aufwärts-/Abwärtszähler (110) zum Zählen der Abtastimpulse, einen Zähler-Aufwärts-/Abwärts-Umschaltteil (109), der das Ausgangssignal des Komparators (108) zum Regeln des Aufwärtszählens und des Abwärtszählens des Zählers (110) derart benützt, daß der optische Rauschanteil maximiert wird, 35

einen D/A-Umsetzer (111) zum Durchführen einer Digital-Analog-Umsetzung des Zählerausgangssignals des Zählers (110),

einen Tiefpaßfilter (105) zum Glätten des Ausgangssignals des D/A-Umsetzers (111), und eine Vorspannstrom-Regelschaltung (22), die den Vorspannstrom ( $I_b$ ) der Laserdiode (7) entsprechend dem Ausgangssignal des Tiefpaßfilters (105) regelt. 40

4. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schwellwert-Regelschaltung (14) anstelle des Bandpaßfilters (103) eine Gate-Schaltung (113) eingesetzt wird, die das Ausgangssignal des Verstärkers (102) zum Verstärken der aus dem optischen Ausgangsrauschen abgeleiteten Spannung auf einen erforderlichen Pegel nur dann weiterleitet, wenn die Daten entsprechend dem zu übertragenden Signal Null sind. 45

5. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schwellwert-Regelschaltung (14) nicht nur der Bandpaßfilter (103) vorgesehen ist, sondern auch eine Gate-Schaltung (113), die das Ausgangssignal des Verstärkers (102) zum Verstärken der aus dem optischen Ausgangsrauschen abgeleiteten Spannung auf einen vorbestimmten Pegel nur dann weiterleitet, wenn die Daten entsprechend dem zu übertragenden Signal Null sind. 50

6. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellwert-Regelschaltung (14) in einem bidirektionalen Kommunikationssystem mit zeitweiser Umschaltung zwischen Senden und Empfangen ferner ein Sicherungsregister (115) enthält, in dem der Eingangswert für den D/A-Umsetzer (111) gesichert wird, nachdem der Sendezeitabschnitt beendet ist und mit dem der gesicherte Wert als Eingangswert des D/A-Umsetzers (111) eingestellt wird, bevor der nächste Sendezeitabschnitt beginnt. 55

7. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellwert-Regelschaltung (14) ferner einen Überwachungsanschluß zum direkten Ausgeben des Eingangssignals des (D/A)-Umsetzers (110) enthält und/oder einen Alarm-Anschluß, der von einem Größenvergleicher (116) ausgeht, der das Eingangssignal des D/A-Umsetzers (D/A comparator) mit dem erforderlichen Alarmwert (Y) vergleicht und ein Ausgangssignal erzeugt. 60

8. Optisches Kommunikationsmodul nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ferner eine Schwellwertschaltung (114) vorgesehen ist, mit der ein oberer und unterer Schwellwert-Bereich-Grenzwert ( $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$ ) entsprechend dem Maximalwert der Frequenzanteile des optischen Rauschens bestimmt wird und der den Zählvorgang des Zählers (110) unterbricht, wenn der Rauschpegel zwischen diesen Grenzwerten liegt. 65

9. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schwellwert-schaltung (114) ein zweiter Zähler (201) vorgesehen ist, der die Differenz zwischen dem Aufwärts-Zähler-

stand des Zählers (110) und dem Abwärts-Zählerstand des Zählers (110) bestimmt, wobei der zweite Zähler (201) den Zählvorgang des Zählers (110) dann unterbricht, wenn die Differenz einen vorgegebenen Wert unterschreitet.

10. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellwertschaltung (114) eine Integrationsschaltung (Σ) zum Aufaddieren der Aufwärtszähl-Impulse und der Abwärtszähl-Impulse umgekehrter Polarität des Zählers (110) enthält, wobei das Ausgangssignal der Integrationsschaltung (Σ) den Betrieb des Zählers (110) unterbricht, wenn der aufaddierte Wert innerhalb der vorbestimmten Grenzwerte ( $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$ ) liegt.

11. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwellwertschaltung (114) ferner einen Anfangseinstellteil enthält, der zwangsweise den Betrieb der Schwellwertschaltung (114) unterbindet, wenn Leistung zugeführt wird.

12. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Anfangseinstellteil betriebsbereit ist, wenn das gleichgerichtete Ausgangssignal der Detektorschaltung (104) außerordentlich klein ist.

13. Optisches Kommunikationsmodul, enthaltend:

einen optischen Sende-/Empfangsteil (6, 9), der das zu sendende Signal als optisches Signal an einem mit einer Faser gebildeten Übertragungsweg (1) weiterleitet und ein optisches Signal von dem Übertragungsweg (1) empfängt, und

einen Treiberteil (11) zum Anlegen des zu übertragenden Signals an den Sende-/Empfangsteil (6, 9) und zum Reproduzieren des empfangenen Signals aus dem empfangenen optischen Signal, wobei

der Sende-/Empfangsteil (6, 9) eine kombinierte Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode (10) enthält, die nicht nur das von der Laserdiode (7) zum Senden während eines Sendezeitabschnitts abgegebene Lichtsignal überwacht, sondern auch ein optisches Eingangssignal von der Übertragungsstrecke (1) während eines Empfangszeitabschnitts, und

einen optischen Koppler/Mischer (2), der ein Mischen und Teilen des empfangenen und gesendeten Lichts zwischen dem Übertragungsweg und der Fotodiode (10) durchführt, und

in dem Treiberabschnitt (11) eine Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) zum Regeln des zeitweisen Umschaltens zwischen Senden und Empfangen vorgesehen ist.

14. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Sende-/Empfangsteil in einem Teil mit der Laserdiode (7) und der Fotodiode (10) gebildet ist.

15. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserdiode (7) und die Fotodiode (10) auf ein und demselben Chip gebildet sind.

16. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Mischer/Teiler (2) durch einen Halbspiegel gebildet ist, der im wesentlichen einen Teil der lichtempfangenden Fläche der Fotodiode (10) darstellt, wobei die lichtempfangende Fläche der Fotodiode (10) in einem Winkel von 45° zu der Vorderseite der Laserdiode (7) angeordnet ist.

17. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbspiegel direkt auf der lichtempfangenden Fläche angeordnet ist.

18. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Mischer/Teiler (2) ein gleichförmiges Prisma enthält, das zwischen der Laserdiode (7) und der Fotodiode (10) angeordnet ist und eine Halbspiegel-Filmfläche und eine Vollreflexions-Filmfläche aufweist.

19. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Mischer/Teiler zwei rechteckförmige Prismen enthält, die zwischen der Laserdiode (7) und der Fotodiode (10) angeordnet sind und eine Halbspiegel-Filmfläche und eine Vollreflexions-Filmfläche aufweisen, wobei das durch die Halbspiegel-Filmfläche hindurchtretende Licht durch die Vollreflexions-Filmfläche reflektiert wird und ferner durch die Halbspiegel-Filmfläche reflektiert wird und die lichtempfangende Fläche der Fotodiode (10) erreicht.

20. Optisches Kommunikationsmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Überwachungs-Lichtverhältnis im Hinblick auf die Senderichtung des abgegebenen Lichtes der Laserdiode (7) dadurch verändert wird, daß die Effektivität des Halbspiegels verändert wird.

21. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Mischer/Teiler (2) ein optischer Koppler mit 2·2 Eingangs-/Ausgangsanschlüssen ist, wobei die Laserdiode (7) und die Fotodiode (10) an die beiden Eingangs-/Ausgangsanschlüsse auf einer Seite des optischen Mischers/Teilers (2) angeordnet sind und an den beiden Eingangs-/Ausgangsanschlüssen der anderen Seite des optischen Mischers/Teilers (2) einerseits eine Faser an einem Anschluß befestigt ist und andererseits eine Vollreflexions-Fläche an dem anderen Anschluß befestigt ist.

22. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Koppler mit 2·2-Eingangs-/Ausgangsanschlüssen durch Lichtleiter gebildet ist.

23. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Koppler mit 2·2-Eingangs-/Ausgangs-Anschlüssen durch verschmolzene Fasern gebildet ist.

24. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) das Umschalten in Abhängigkeit von einem von außen zugeführten Sende-/Empfangs-Umschalt-Signal durchführt.

25. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) das Umschalten in unabhängiger Weise entsprechend einem internen Zeitgeber durchführt.

26. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) das von der Fotodiode (10) abgegebene Überwachungssignal an eine APC-

Schaltung (13) weiterleitet, die die abgegebene Leistung so regelt, daß sie konstant verläuft.

27. Optisches Kommunikationsmodul nach Anspruch 13 oder Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) das von der Fotodiode (10) abgegebene Überwachungssignal an eine Schwellwert-Regelschaltung (14) weiterleitet, die den Vorspannstrom (Ib) der Laserdiode (7) so regelt, daß er dem Schwellwert (Ith) folgt.

28. Optisches Kommunikationsmodul nach einem der Ansprüche 13, 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) das von der Fotodiode (10) abgegebene Überwachungssignal an eine AGC-Schaltung (16) abgibt, die den Empfangspegel auf einem konstanten Wert hält.

29. Optisches Kommunikationsmodul, enthaltend:

einen optischen Sende-/Empfangsteil (6, 9), der das zu sendende Signal als optisches Signal an einem mit einer Faser gebildeten Übertragungsweg (1) weiterleitet und ein optisches Signal von dem Übertragungsweg (1) empfängt, und

einen Treiberteil (11) zum Anlegen des zu übertragenden Signals an den Sende-/Empfangsteil und zum Reproduzieren des empfangenen elektrischen Signals aus dem empfangenen optischen Signal, wobei

der Sende-/Empfangsteil eine kombinierte Überwachungs-/Empfangs-Fotodiode (10) enthält, die nicht nur das von der Laserdiode (7) zum Senden während eines Sendezeitabschnitts abgegebene Lichtsignal überwacht, sondern auch ein optisches Eingangssignal von der Übertragungsstrecke (1) während eines Empfangszeitabschnitts, und

einen optischen Koppler/Teiler (2), der ein Koppeln und Teilen des empfangenen und gesendeten Lichts zwischen dem Übertragungsweg und der Fotodiode (10) durchführt, und

eine in dem Treiberabschnitt (11) enthaltene Sende-/Empfangs-Umschalt-Schaltung (18) zum Regeln des zeitweisen Umschaltens zwischen Senden und Empfangen, und

eine Schwellwert-Regelschaltung (14) zum Durchführen einer sukzessiven Regelung des Vorspannstroms (Ib) der Laserdiode (7) der Art, daß das durch die Fotodiode (10) überwachte optische Rauschen maximiert wird.

Hierzu 25 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

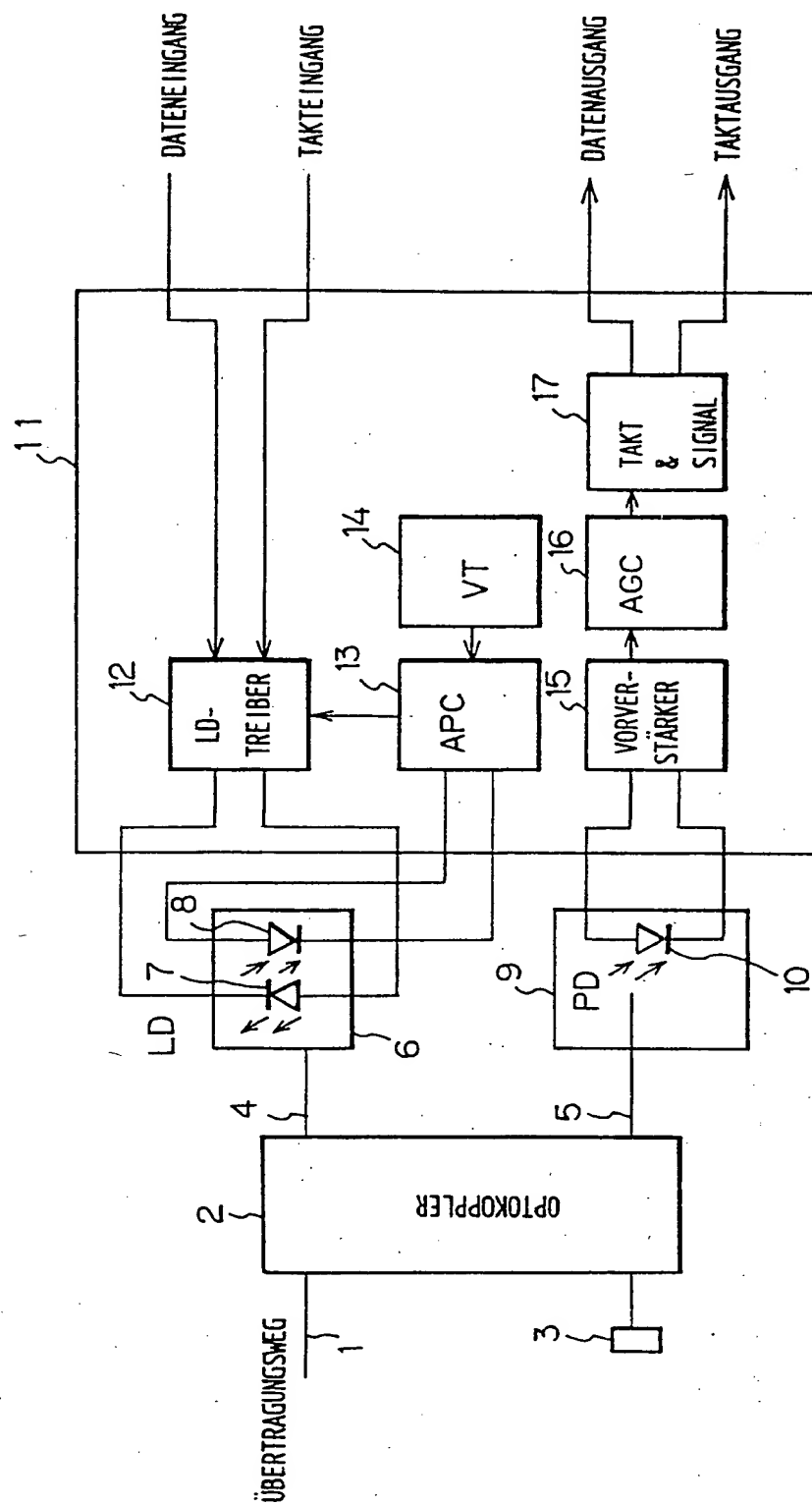


Fig. 2

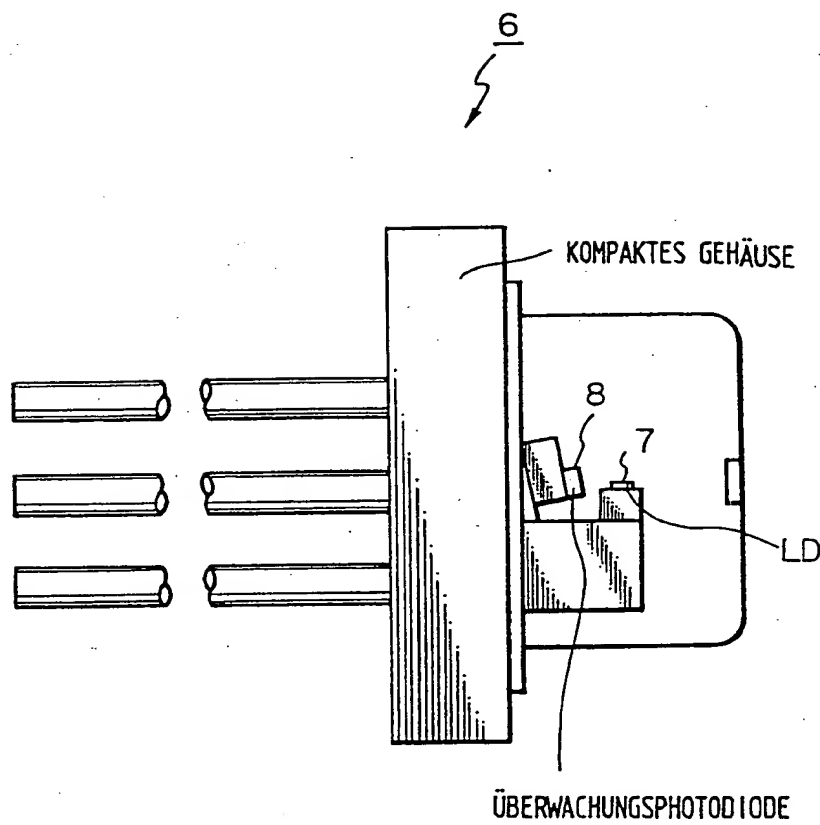


Fig.3

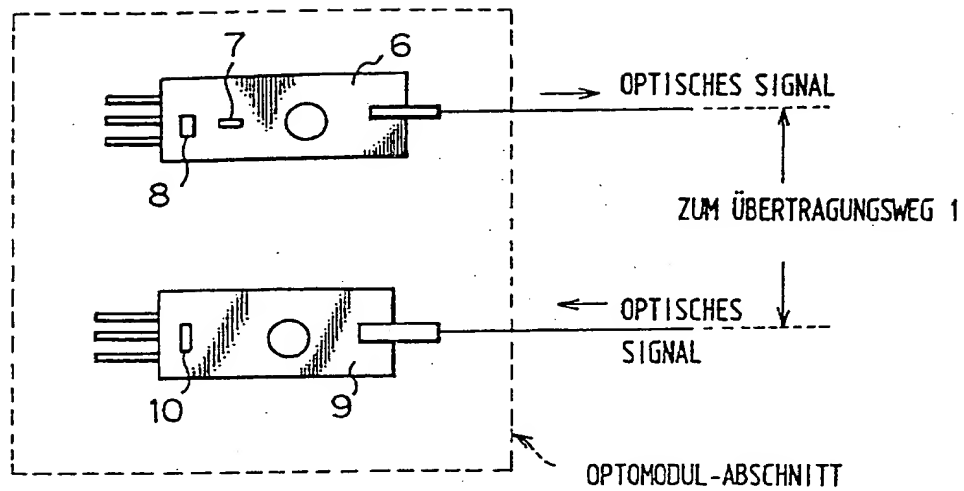
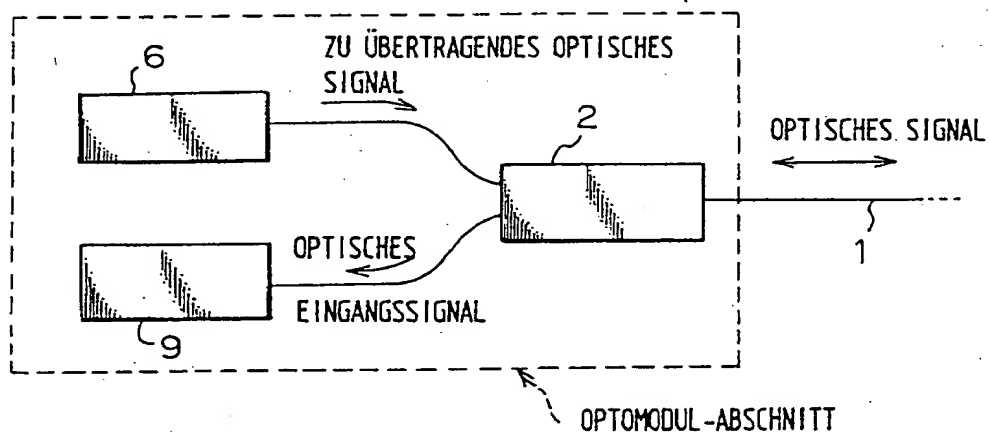


Fig.4







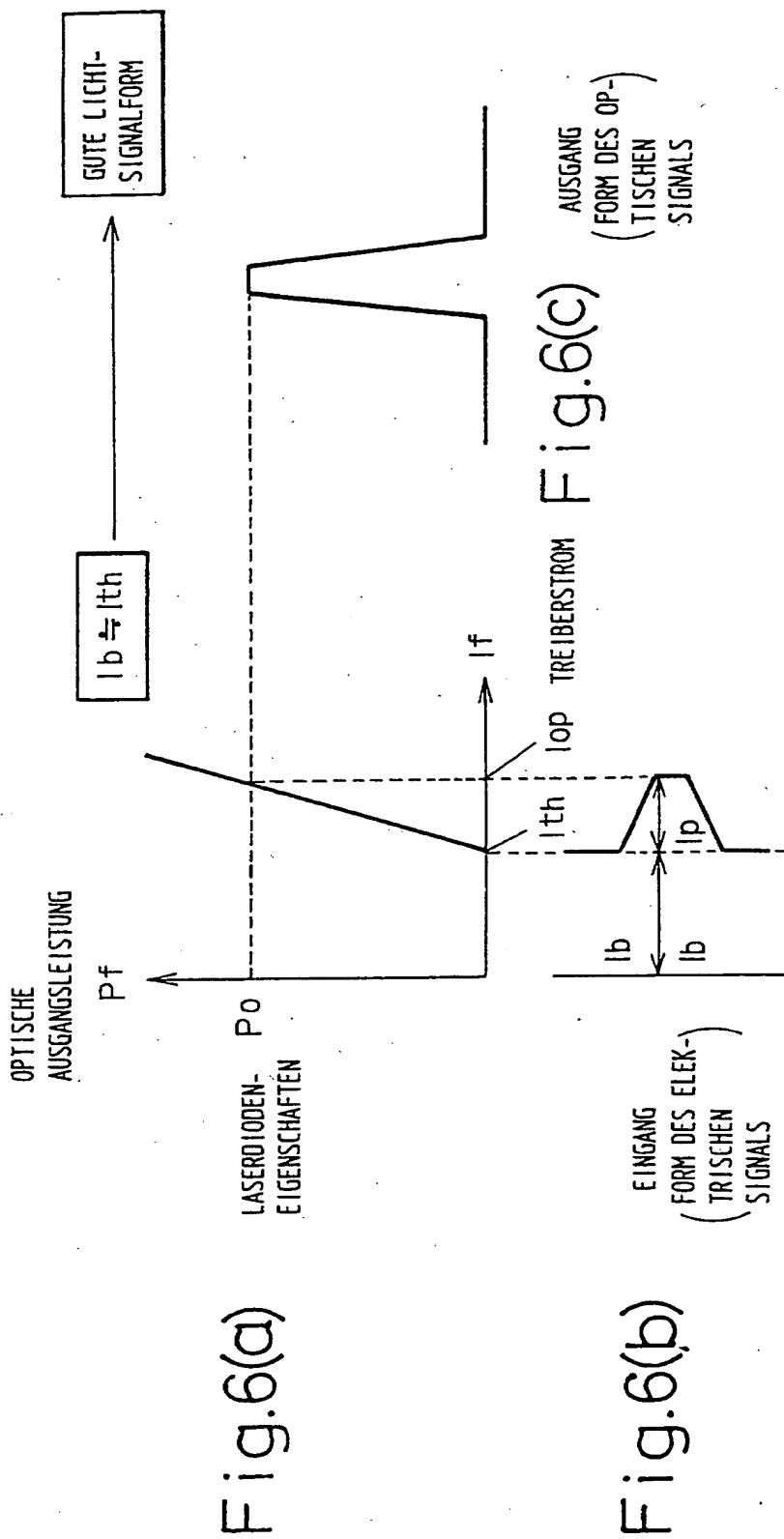
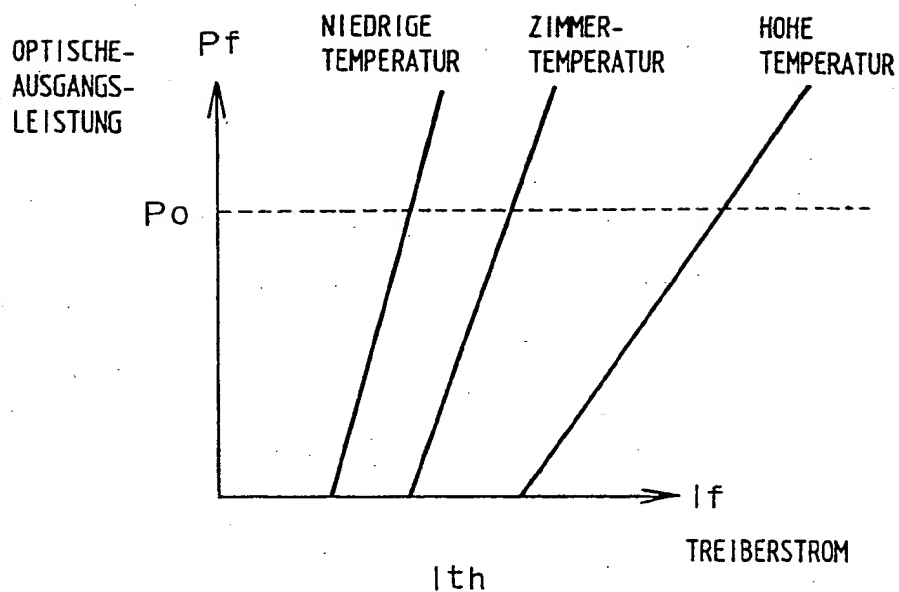


Fig.7



OPTISCHE  
AUSGANGSLEISTUNG

$P_f$

$P_0$

LASERDIODEN-  
EIGENSCHAFTEN

Fig.8(a)

FLANKENUNSIKERHEIT BEI  
STEIGENDER FLANKE REDU-  
ZIERT IMPULSBREITE;  
SCHMALE FORM DES OP-  
TISCHEN SIGNALS

$$I_b < I_{th}$$

$I_f$

TREIBER-  
STROM

$I_{op}$

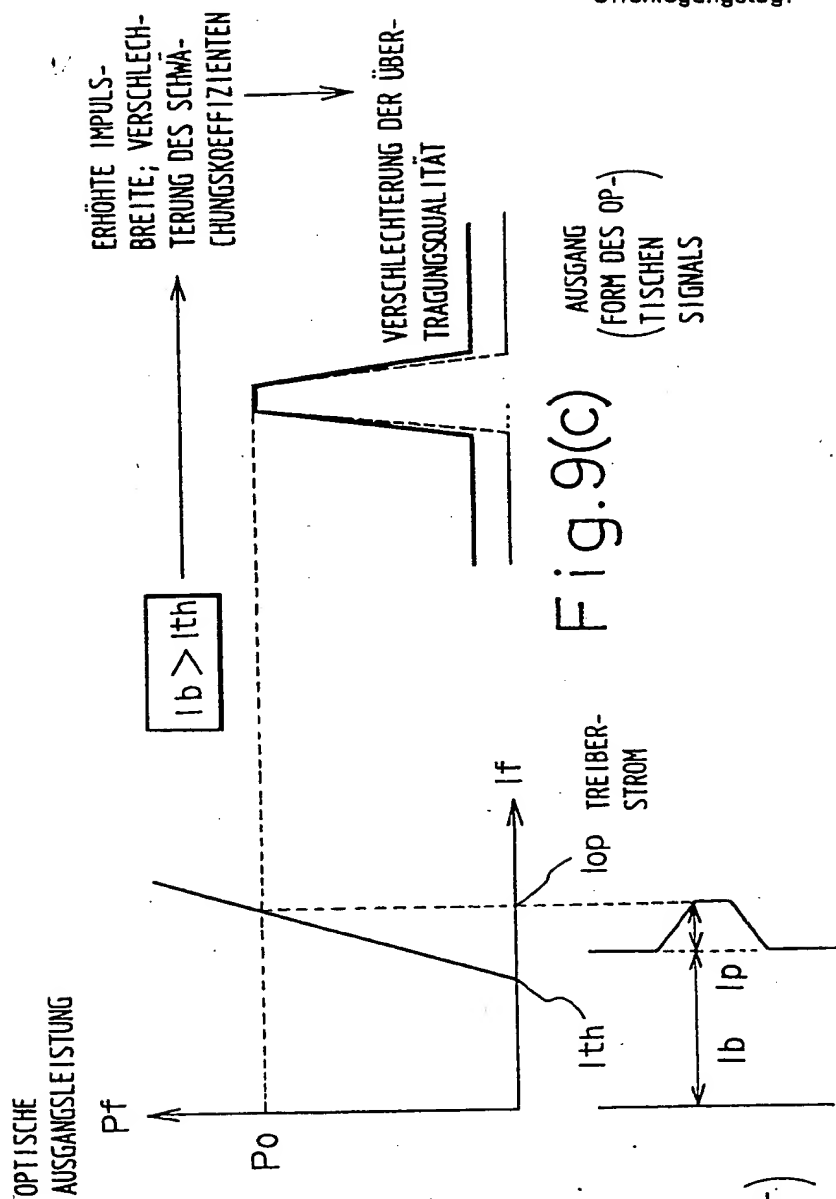
$I_{th}$

EINGANG  
FORM DES ELEK-  
(TRISCHEN  
SIGNALS

Fig.8(b)

AUSGANG  
FORM DES OP-  
(TISCHEN  
SIGNALS

Fig.8(c)



LASERDIODEN-  
EIGENSCHAFTEN

Fig. 9(a)

EINGANG  
(FORM DES ELEK-  
TRISCHEN SIGNALS)

Fig. 9(b)

Fig. 9(c)

AUSGANG  
(FORM DES OP-  
TISCHEN SIGNALS)

ERHÖHTE IMPULS-  
BREITE; VERSCHLECH-  
TERUNG DES SCHWÄ-  
CHUNGSKOEFFIZIENTEN

VERSCHLECHTERUNG DER ÜBER-  
TRAGUNGSGUÄLITÄT

Fig.10(a)

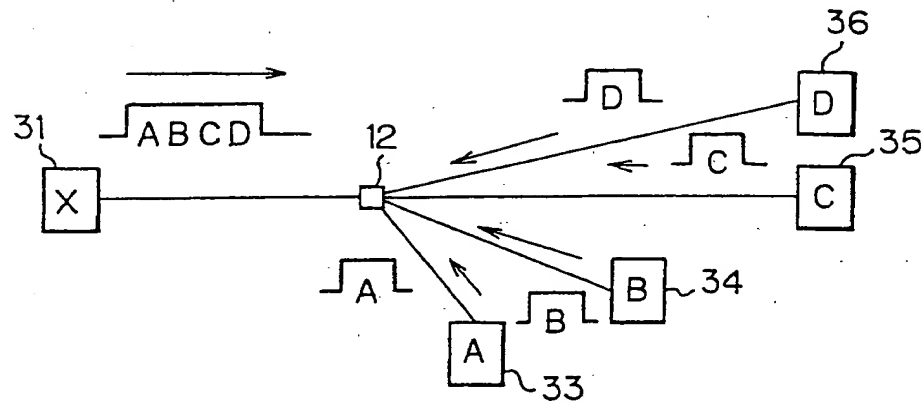


Fig.10(b)

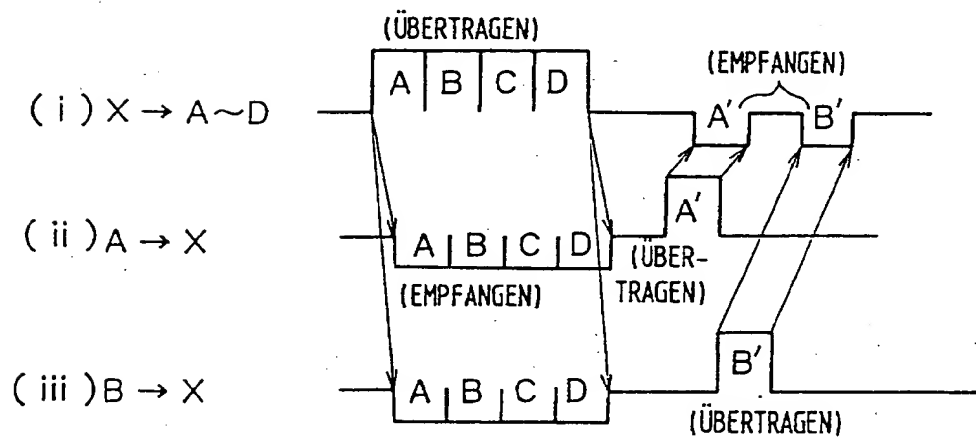


Fig.11

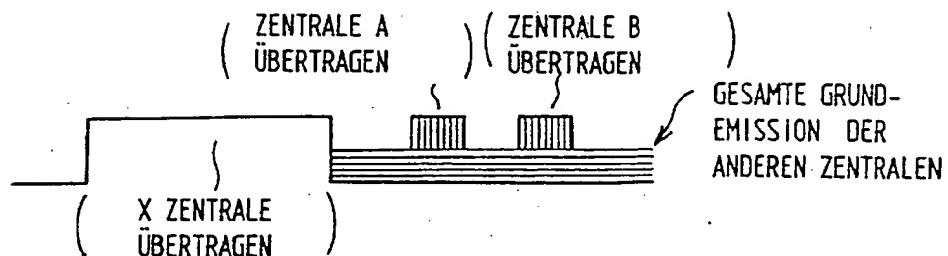




Fig.12

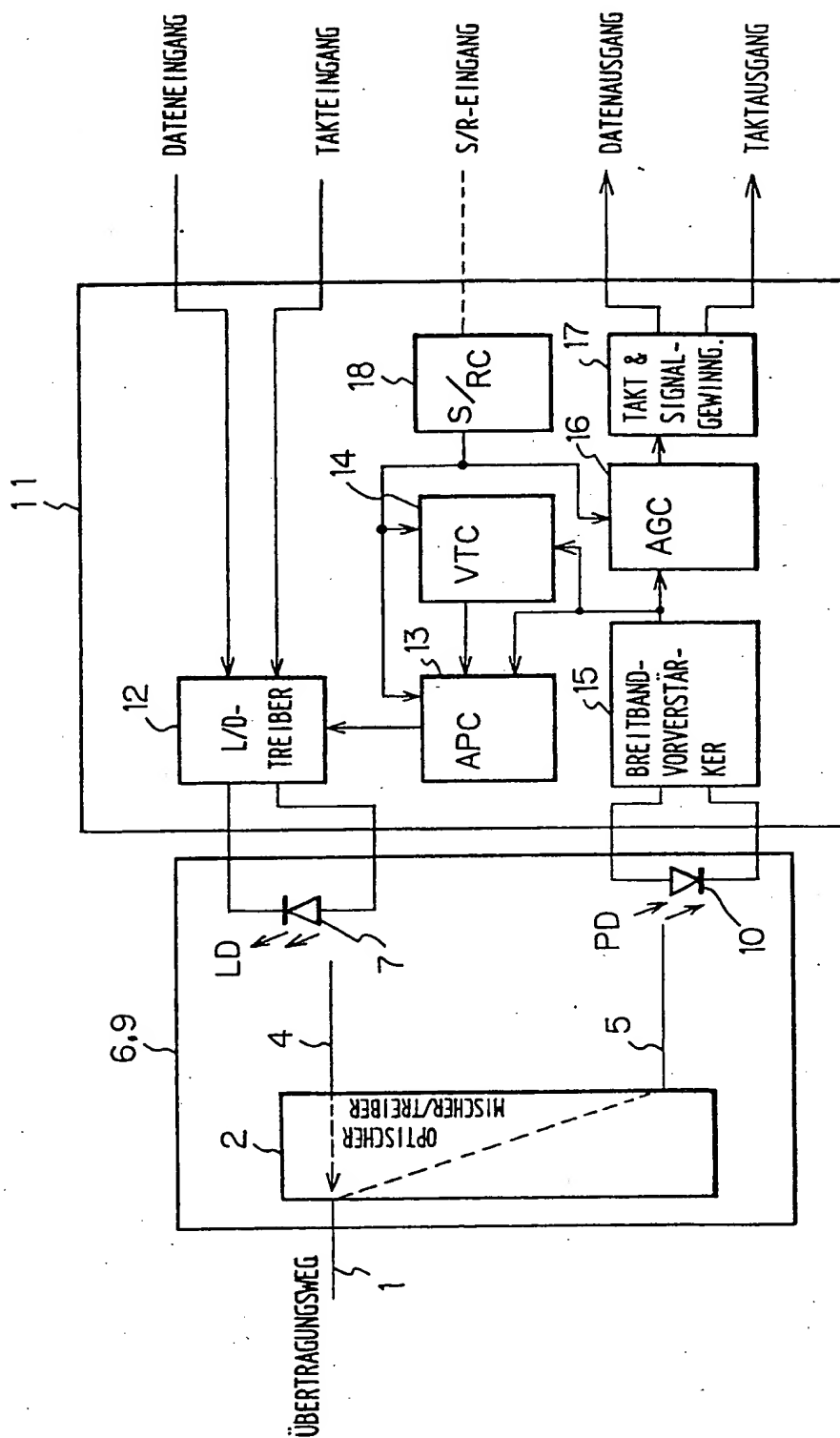


Fig.13

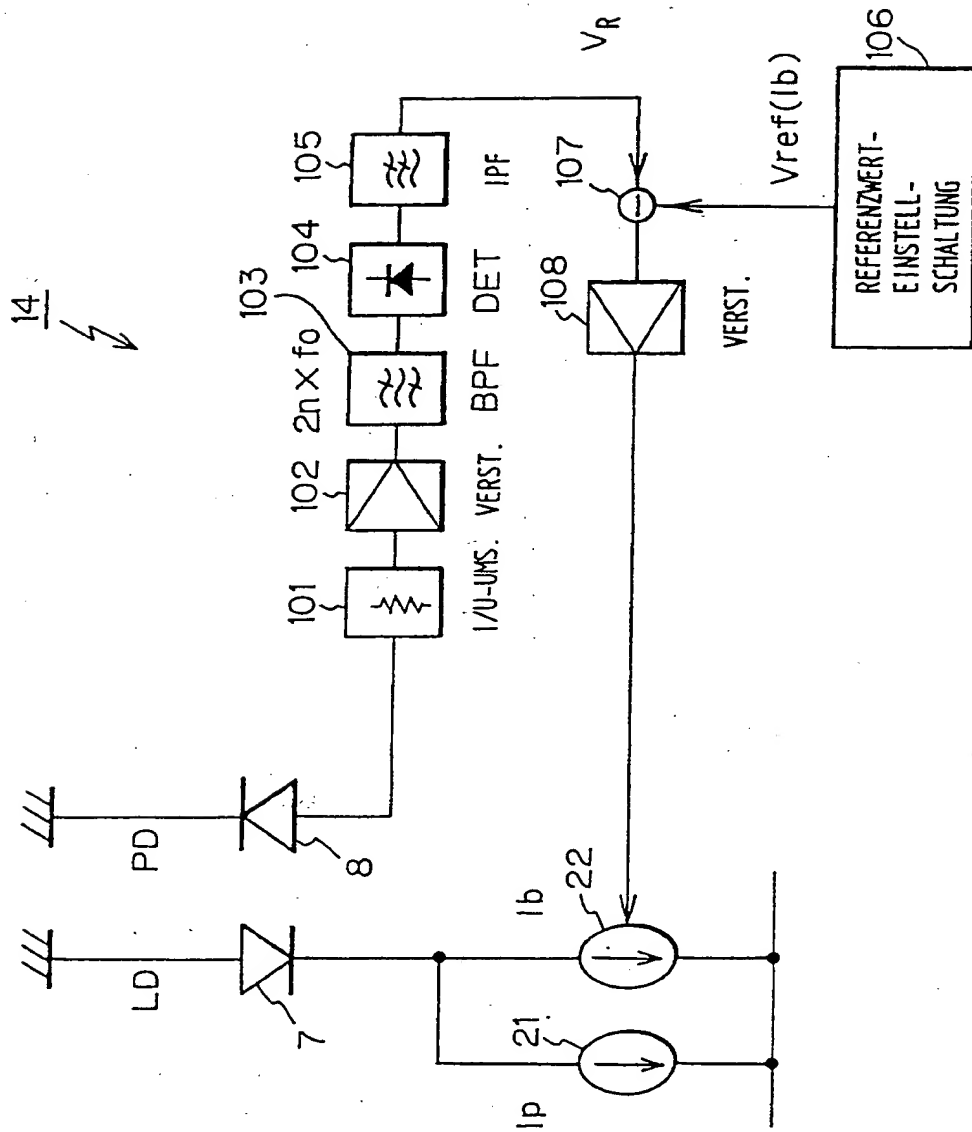


Fig.14(a)

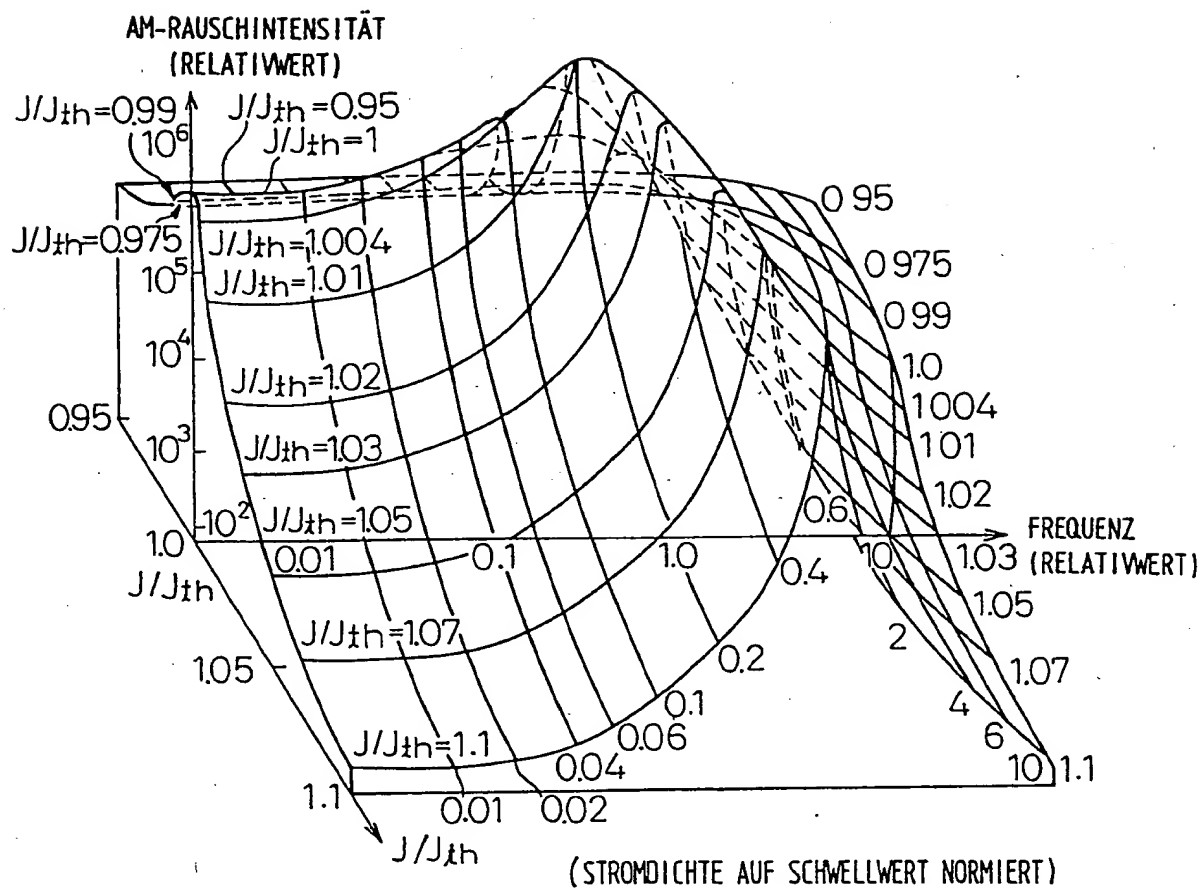


Fig.14(b)

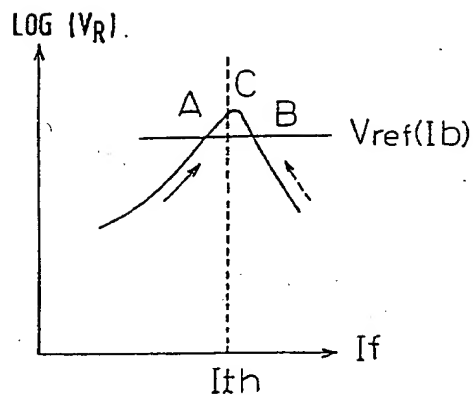


Fig.14(c)

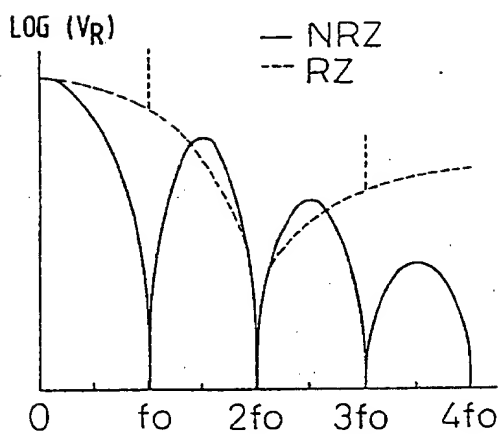










Fig.18(a)

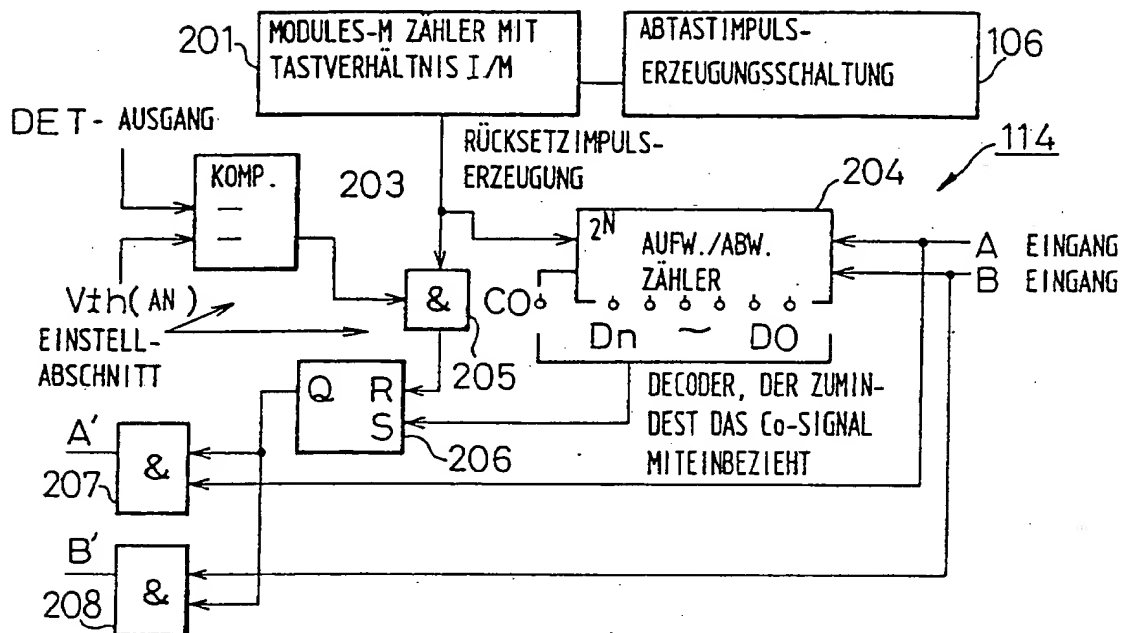


Fig.18(b)

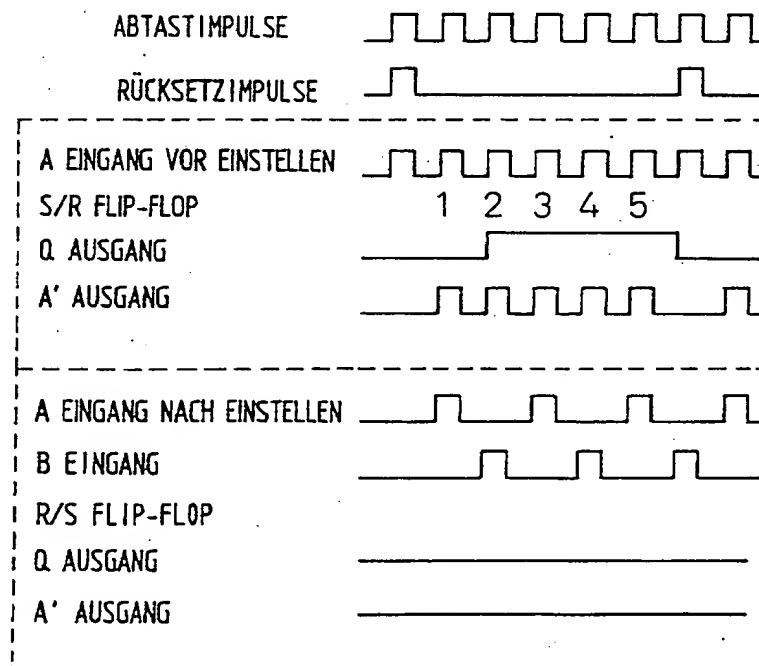


Fig.19(a)

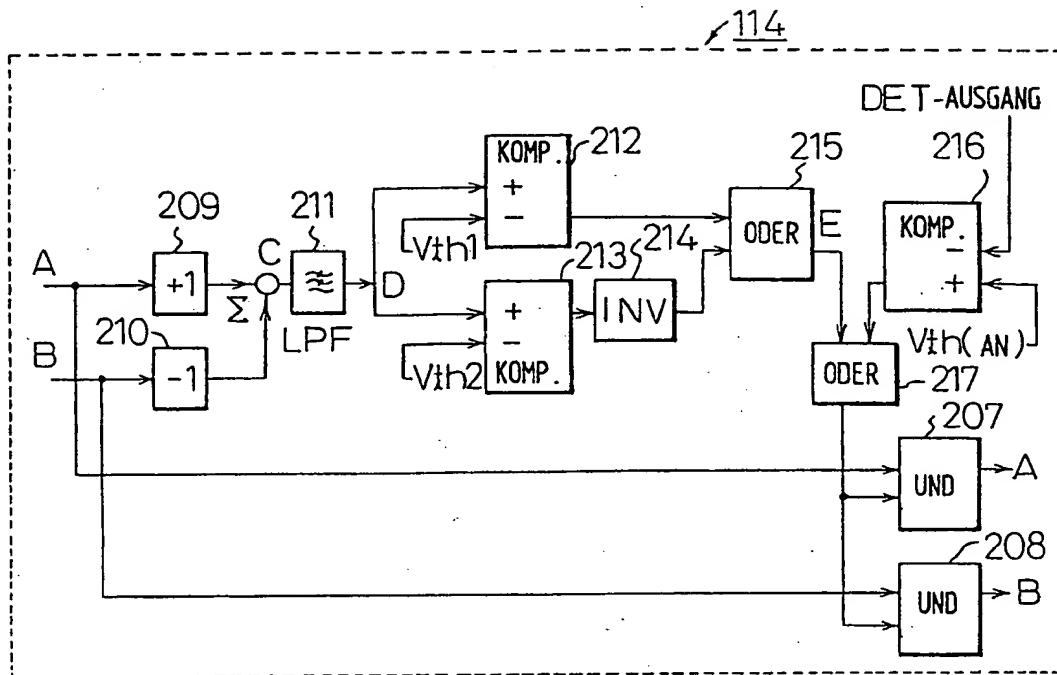


Fig.19(b)

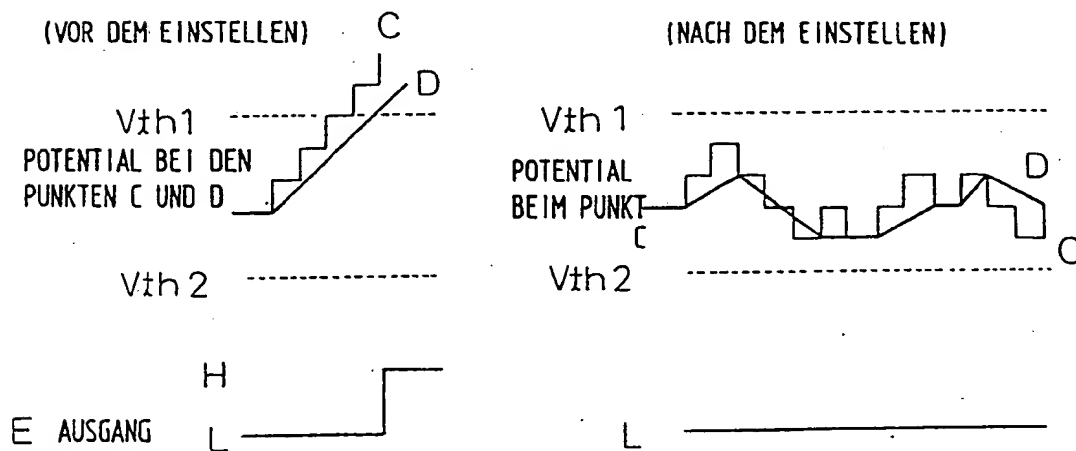




Fig.21

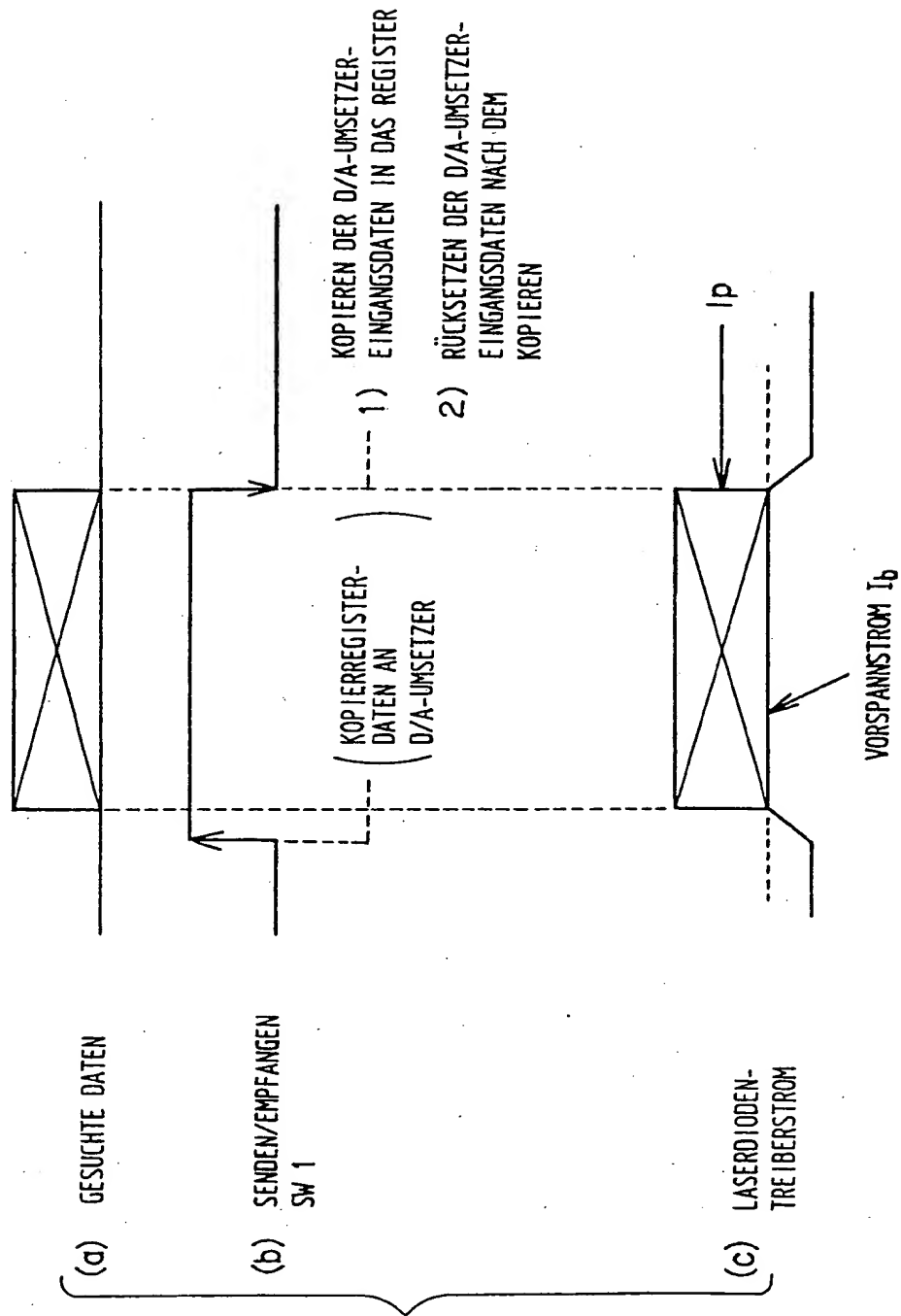




Fig. 23

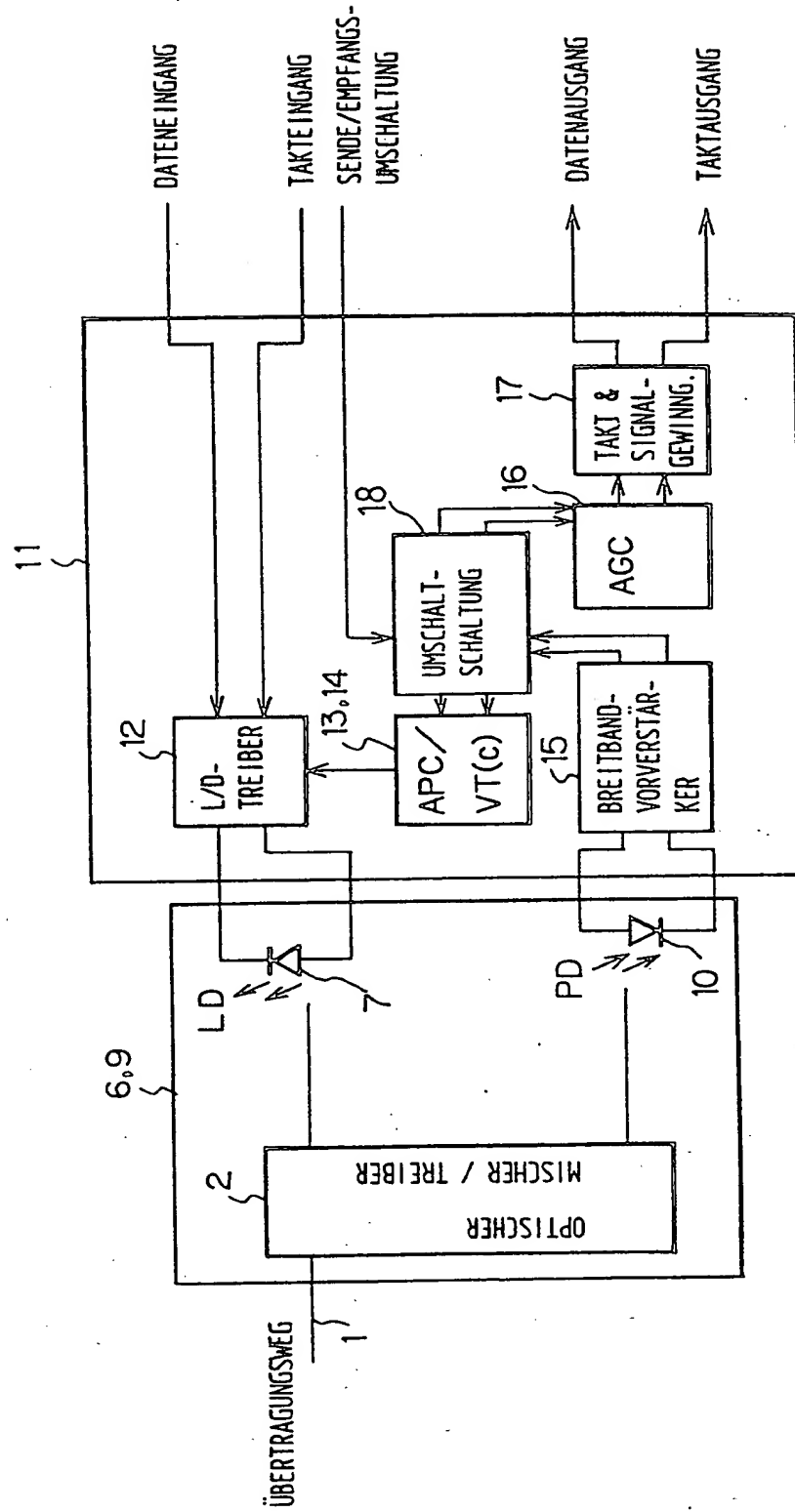






Fig. 25

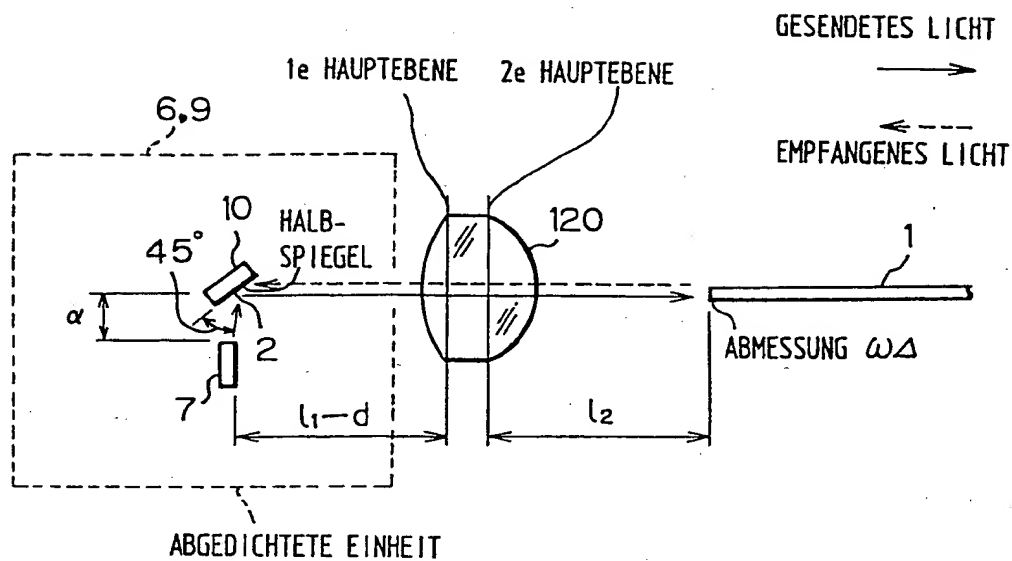


Fig. 26

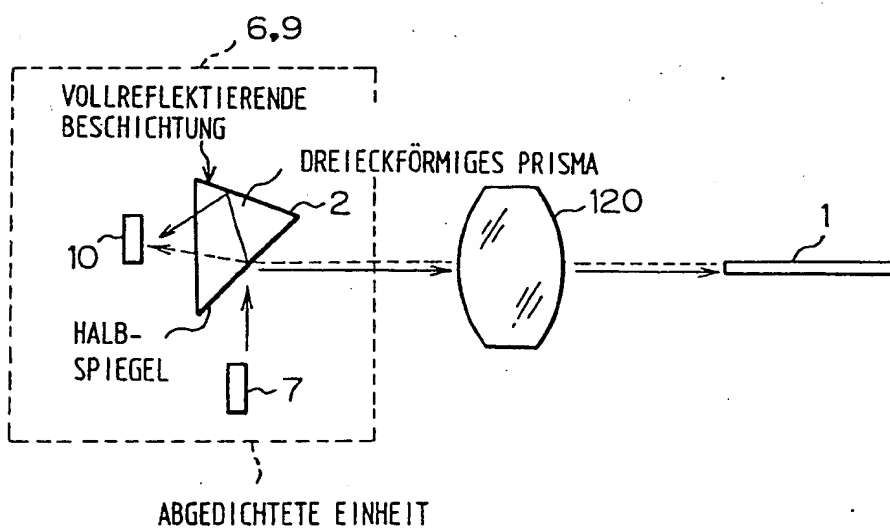


Fig. 27

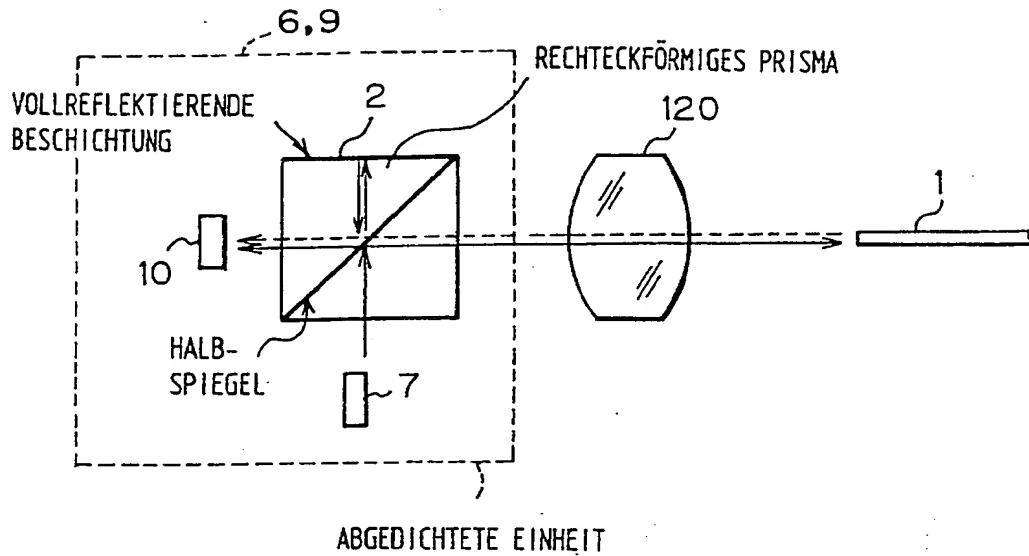
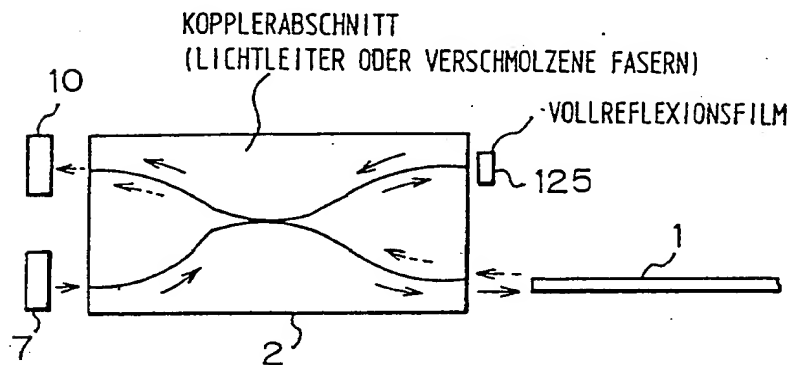


Fig. 28



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**